

28/05/H/06



TUGAS AKHIR
(LL 1327)

**“PERANCANGAN STRUKTUR UNDERWATER HABITAT
DENGAN KONFIGURASI SILINDER BERPENEGAR CINCIN
EKSTERNAL BERUJUNG ELLIPSOIDAL”**



RS/Ke
627.702
Has
p-1
2006

Oleh :

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	6-9-06
Terima. Dari	H
No. Agenda Prp.	2265/2

ABDULLAH FERIAL HASAN
NRP. 4399 100 010

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

“PERANCANGAN STRUKTUR UNDERWATER HABITAT DENGAN KONFIGURASI SILINDER BERPENEGAR CINCIN EKSTERNAL BERUJUNG ELLIPSOIDAL”



Abdullah Ferial Hasan
NRP. 4399 100 010

Surabaya, Juli 2006

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc
NIP. 131 407 592

Pembimbing II

Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo, MT
NIP. 132 133 976

**Ketua Jurusan Teknik Kelautan
FTK - ITS**



Ir. Imam Rochani, M.Sc
NIP. 131 417 209



ABSTRAK

ABSTRAK

Oleh : Abdullah Ferial Hasan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc
Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo, MT

Underwater Habitat merupakan struktur yang dapat dipergunakan manusia untuk membantu aktivitas manusia dibawah permukaan air. Kebutuhan akan teknologi tersebut belakangan ini terus meningkat, mengingat semakin dieksplorasinya sumber daya bawah air, seperti untuk laboratorium bawah air, kapal selam dengan berbagai fungsi mulai dari penelitian, militer sampai dengan pemenuhan kebutuhan rekreasi. Penelitian kali ini akan membahas *underwater habitat* dengan konfigurasi bentuk silinder berujung ellipsoidal dome dengan eksternal stiffener sebagai penegar. Dimana *underwater habitat* tersebut akan dioperasikan pada kedalaman 381m. dengan material HY80 High Tension Steel berdimensi : panjang silinder 360in, diameter silinder 180in dan terkena pembebanan sebesar 567psi (39,1bar) berupa tekanan hidrostatik. Yang nantinya akan dapat diketahui ketebalan minimum kulit (shell) dan jarak optimum antar stiffener. Penelitian ini dimulai dengan penentuan shell pada dome dengan cara penghitungan manual (2,5 in) dengan Safety Factor (SF) = 1,16. Kemudian dari ketebalan tersebut dihitung kebutuhan akan stiffener pada silinder yang didapat hasil akan menggunakan 2 stiffener berjarak maksimum antar stiffener 120 in dengan SF=1,71. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan komputer memakai software MSC. Nastran for Windows Version 4.5 untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat. Hasil dari pemodelan dengan software tersebut memberikan output berupa *von mises stress* sebesar 43.480psi dengan SF=1,84 dan deformasi terbesar 1,04in yang terjadi di bagian Dome

Kata-kata kunci: *Underwater Habitat*, tekanan hidrostatik, kedalaman operasi, *von mises stress*, tebal kulit dan jarak antar Stiffener

ABSTRACT

By : Abdullah Ferial Hasan
Under Supervision : Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc
Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo, MT

Underwater Habitat is a structure designed to facilitate human activity under water. The needs for this technology increased recently, concerning there's so many under water resources exploration lately, such as for under water laboratories, multi-function submarines for research, military as well as recreational needs. This study explains about *underwater habitat* with a silinder shaped configuration, with ellipsoidal dome edge and an external stiffener. This under water habitat will be operated in the water depth of 381 m, with HY80 High Tension Steel material, 360 inch silinder length, 180 inch silinder diameter dimension, loaded with 567psi (39,1 bar) hidrostatic pressure. The study is continued determining the minimum shell thickness and the optimum space between stiffener. This research begins with the dome shell thickness determination in manual counting method (2,5 in) with a safety factor (SF)=1,16. Then from the thickness obtained the way of stiffener on the silinder is established. calculation result show, apparently it needs 2 stiffener with a 120 inch maximum space between stiffeners, with SF=1,71. A center dual computerized was then made with computer modelling that using MSC Nastran For Windows Ver. 4.5 software to achieve more accurate counting result. The result of this modelling gives an output in form of *von mises stress* at 43.480 psi with SF=1,84 and with 1,04 inch as the largest deformation that occurred in Dome section.

Keyword : *Underwater Habitat*, Hidrostatic pressure, operational depth, *von mises stress*, shell thickness and space between stiffeners.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan segenap kemampuan yang dimiliki oleh penulis. Tugas Akhir ini berjudul **“Perancangan Struktur *Underwater Habitat* dengan Konfigurasi Silinder Berpenegar Cincin Eksternal Berujung Ellipsoidal”**.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini menganalisa ketebalan minimum shell dan jarak maksimum antar *stiffener* yang dapat dipakai pada kedalaman operasi 1250 ft (381 m) dibawah permukaan air. Berdasarkan hasil analisa diperoleh ketebalan minimum shell yang dapat digunakan adalah 2,5 in dan jarak antar *stiffener* 120 in. Dengan *Safety Factor* 1,16 untuk analisa tekanan.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini belum sempurna, maka dari itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan, dan berharap penelitian ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 21 Juli 2006

Penulis



**UCAPAN
TERIMA KASIH**

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT. Karena berkat rahmat, hidayah serta inayah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Serta tak lupa pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang turut membantu menyelesaikan tugas ini, sebagai berikut :

1. Bpk. Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I, untuk panduan serta bantuan yang senantiasa diberikan pada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bpk. Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo, MT, selaku Dosen Pembimbing I, untuk panduan serta bantuan yang senantiasa diberikan pada penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bpk. Ir. Imam Rochani, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. untuk bimbingan dan dorongan yang diberikan selama penulis menyelesaikan studinya di Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
4. Staff Pengajar Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. Untuk bimbingan dan panduannya selama penulis menyelesaikan studinya di Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
5. Staff Pengelola & Karyawan Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
6. Kedua Orang tua saya (Herman Hasan Basri & Tantien Bintarti) untuk semua kasih sayang dan pengorbanan yang telah kalian berikan.
7. Adik-adikku (Anies, Amrul) dan Aga serta Kawul, jangan lupa sembahyang and keep on rock'in..hidup "TRIPLE-A"..!

8. Inunk-ku yang aku kasihi, terima kasih atas segala dorongan dan inspirasi serta do'anya yang kau berikan.
9. Eyang Putri dan Nenekku yang super baik dan selalu mendoakanku, makasih doanya..
10. Pak Bambang Roes, Pak Haely, Pak Imam, Bu Yuni di PT PAL, untuk bantuannya.
11. Orang tua muridku Gala (Hendar Soetarna & Rakhmi Oktovilan) atas bantuannya yang sangat bermanfaat bagi penulis.
12. Teman-teman di kampus T. Kelautan (Fahmi, Bagus Budi, P-ter, Ragil, Arga, Dodik, Endro, Amin, Shante, Jeng Sri, Alin, Yudha, Taufan, Memed, Melly, Tyas, Doffy, ASOF, Dede'_TRB 3, Reza, Dodon, Aris, Sofyan Muji, Fatchul), TekDiv Triple 'A' (Mas Seran, Spongebob, Taqrib, Nohex, Buddy, Mbenk, Turki, dll) dan semua pihak yang tidak dapat tercantum karena terbatasnya tempat yang telah membantu penulis.



DAFTAR ISI, GAMBAR DAN TABEL

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix

BAB I	PENDAHULUAN	I-1
1.1	LATAR BELAKANG	I-1
1.2	PERUMUSAN MASALAH	I-3
1.3	TUJUAN	I-3
1.4	MANFAAT	I-3
1.5	RUANG LINGKUP PENELITIAN	I-4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	II-1
2.1	TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.2	DASAR TEORI	II-12
2.2.1	STRUKTUR SHELL	II-12
2.2.1.1	AKSI MEMBRAN	II-13
2.2.1.2	JENIS GAYA PADA SHELL	II-13
2.2.1.3	GAYA MELINGKAR PADA SHELL	II-16
2.2.1.4	GAYA MERIDIONAL PADA SHELL	II-17
2.2.2	KONSEP TEGANGAN	II-18
2.2.2.1	TEGANGAN AKSIAL/NORMAL	II-18
2.2.2.2	TEGANGAN GESER	II-20
2.2.3	PENERAPAN TEGANGAN BIDANG	II-22
2.2.3.1	BEJANA TEKAN BOLA (SPHERICAL)	II-22
2.2.3.2	BEJANA TEKAN SILINDER	II-27
2.2.4	TEORI KEGAGALAN STATIS	II-32
2.2.5	MATRIK KEKAKUAN ELEMEN	II-34
2.2.5.1	PENGGABUNGAN ELEMEN	II-35

2.2.5.2	PERHITUNGAN LENDUTAN	II-35
2.2.6	METODE ELEMEN HINGGA	II-36
2.2.7	FORMULA TAMBAHAN	II-38
BAB III	METODOLOGI	III-1
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1	UMUM	IV-1
4.2	DESAIN STRUKTUR	IV-1
4.2.1.	MATERIAL	IV-1
4.2.2	UKURAN UTAMA	IV-2
4.2.3	KEDALAMAN DAN TEKANAN OPERASI	IV-2
4.2.4	PERHITUNGAN KETEBALAN SHELL DOME	IV-2
4.2.4.1	PROSES ITERASI PADA DOME	IV-3
4.2.5	PERHITUNGAN KETEBALAN SHELL SILINDER	IV-4
4.2.5.1	PERHITUNGAN STIFFENER	IV-5
4.2.5.2	PROSES ITERASI PADA SILINDER	IV-7
4.2.6	PERHITUNGAN TEGANGAN	IV-10
4.2.6.1	PERHITUNGAN TEGANGAN PADA SILINDER	IV-10
4.2.6.2	PERHITUNGAN TEGANGAN PADA DOME	IV-12
4.3	PEMODELAN	IV-16
4.4	HASIL PEMODELAN	IV-19
4.5	PEMBAHASAN	IV-22
4.5.1	TEKANAN (PRESSURE)	IV-22
4.5.2	TEGANGAN DAN DEFORMASI	IV-24
4.5.2	PERBANDINGAN JENIS STIFFENER	IV-25
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1	KESIMPULAN	V-1
5.2	SARAN	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ellipsoidal Head	II-2
Gambar 2.2 <i>Underwater Habitat</i> berkonfigurasi Silinder berujung <i>Ellipsoidal Dome</i>	II-3
Gambar 2.3 The Values of Faktor A	II-6
Gambar 2.4 The Values of Factor B	II-7
Gambar 2.5 Silinder <i>Vessel</i> dengan menggunakan penguat <i>stiffener</i>	II-8
Gambar 2.6 Silinder dengan Eksternal stiffener	II-9
Gambar 2.7 Geometri Internal Stiffener Tipe T	II-9
Gambar 2.8 <i>A general instability</i>	II-10
Gambar 2.9 <i>Buckling of Shell</i>	II-11
Gambar 2.10 <i>Yielding of shell</i>	II-11
Gambar 2.11 Gaya-gaya pada Shell Sphere	II-14
Gambar 2.12 Gaya Melingkar dan Meridional pada Shell Sphere	II-15
Gambar 2.13 Tinjauan Profil	II-15
Gambar 2.14 Pembebanan aksial pada batang tubular	II-19
Gambar 2.15 Pembebanan momen kopel pada batang tubular	II-19
Gambar 2.16 Gaya puntiran pada batang silinder	II-21
Gambar 2.17 Potongan Melintang Bejana Tekan Berbentuk Bola	II-23
Gambar 2.18 Tegangan Tarik σ di Dinding Bejana Tekan Berbentuk Bola	II-23
Gambar 2.19 Tegangan di Bejana Tekan Bola pada Permukaan	II-25
Gambar 2.20 Tegangan di Bejana Tekan Silindrikal	II-28
Gambar 2.21 Tegangan di Bejana Tekan Bola pada Permukaan	II-31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-4
Gambar 4.1 Perbandingan Tekanan pada Dome	IV-4
Gambar 4.2 Geometri Internal Stiffener Tipe T	IV-6
Gambar 4.3 Perbandingan Tekanan pada Silinder	IV-9
Gambar 4.4 Perbandingan Tekanan pada Silinder (variasi jarak stiffener)	IV-10
Gambar 4.5 Tegangan pada Dome	IV-16
Gambar 4.6 Model Struktur yang Dianalisa	IV-17
Gambar 4.7 Potongan Membujur Struktur	IV-17
Gambar 4.8 Contour Stress Struktur	IV-19
Gambar 4.9 Countur dan Deformasi Struktur	IV-20
Gambar 4.10 Countur Stress Struktur Pembanding	IV-21
Gambar 4.11 Countur Deformasi Struktur Pembanding	IV-21

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 perubahan Volume gas akibat penambahan kedalaman	II-39
Tabel 4.1 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Dome	IV-4
Tabel 4.2 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Silinder	IV-8
Tabel 4.3. Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Silinder (variasi jarak stiffener)	IV-9
Tabel 4.4 Tegangan Von Mises	IV-15
Tabel 4.5 Perbandingan Jenis Stiffener	IV-26



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Gagasan akan suatu alat yang dapat membuat manusia untuk hidup di dalam air sangat menarik minat beberapa peneliti. Terlebih dengan pesatnya pertumbuhan populasi manusia di bumi yang mana sampai saat ini terletak di daratan. Gagasan ini diharapkan mampu mengatasi keterbatasan tempat tinggal yang ada sekarang. Saat ini peneliti berusaha menjajaki kemungkinan tersebut yang mana memiliki beragam fungsi, meliputi penelitian ilmiah, keperluan militer maupun sebagai sarana rekreasi.

Dalam perkembangan teknologi perairan atau maritim sampai sekarang ini, para peneliti dan *engineer* telah berhasil menciptakan berbagai macam struktur yang dapat dipakai manusia di perairan termasuk di bawah permukaan air. Untuk struktur yang dioperasikan di bawah permukaan air, baik yang didesain untuk tidak bergerak (*fixed*) ataupun yang didesain untuk bergerak (*Underwater Vehicles*) memerlukan suatu desain yang teliti agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, karena apabila mengalami masalah atau kerusakan sangat sulit untuk melakukan perbaikan dan penyelamatan mengingat posisinya yang berada di bawah permukaan air.

Underwater Habitat merupakan struktur yang dapat dipergunakan manusia untuk membantu aktivitas manusia dibawah permukaan air, dan kebutuhannya belakangan ini terus bertambah, mengingat semakin dieksplorasinya sumber daya bawah air, seperti untuk laboratorium bawah air.

Adapun dalam penelitian kali ini di fokuskan pada penelitian struktur yang berada dibawah permukaan air yaitu "*Underwater Habitat*" berbentuk silinder

dengan ujung dome ellipsoidal dan dilengkapi dengan penegar eksternal berbentuk cincin. Dalam penelitian ini *underwater habitat* yang diteliti merupakan suatu studi awal untuk perancangan kapal selam yang dikhususkan pada pembahasan mengenai kekuatan kulitnya pada bagian silinder dan domanya, agar diperoleh nilai ketebalan kulit minimum yang dapat dipakai pada kedalaman operasi tertentu Sehingga pada akhirnya *underwater habitat* (vessel) ini layak untuk dipakai untuk berbagai keperluan sampai dapat menampung kehidupan seperti manusia di dalamnya.

Untuk bangunan atau struktur yang dioperasikan dibawah permukaan air, desain struktur menjadi pertimbangan awal setelah karakteristik umum ditentukan, misalnya : kedalaman operasi, kecepatan, *endurance*, *payload*, dan *manning*.

Pertambahan tekanan akibat gaya hidrostatik yang terus-menerus mengakibatkan kegagalan struktur. Model kegagalan yang terjadi pada silinder adalah sebagai berikut :

1. A general instability
2. Buckling of shell between frames
3. Yielding of the shell between rings

Dan model kegagalan yang terjadi pada ujungnya adalah sebagai berikut :

1. Axisymmetric buckling
2. Lobar buckling
3. Axisymmetric yielding

Desain konvensional pada vessel selalu mengalami overdesain dikarenakan pertimbangan keamanan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Kekuatan optimal operasional vessel sangat tergantung pada kedalaman beroperasinya vessel tersebut, dalam penelitian kali ini beberapa permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan ketebalan optimum shell (kulit lambung) vessel pada kedalaman operasi tertentu ?
2. Bagaimana menentukan jarak frame pada lambung vessel agar diperoleh kekuatan maksimum ?

1.3 TUJUAN

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui ketebalan optimum shell (kulit lambung) vessel pada kedalaman operasi tertentu.
2. Mengetahui jarak frame pada lambung vessel agar diperoleh kekuatan vessel maksimum.

1.4 MANFAAT

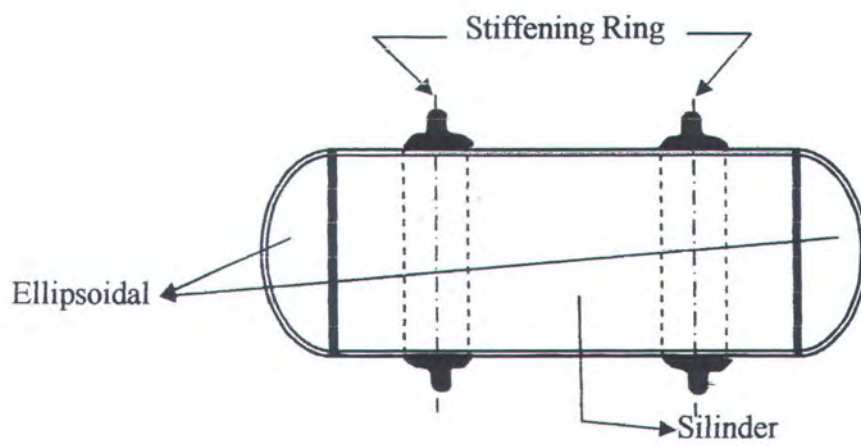
Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai optimum shell vessel pada kedalaman operasi tertentu, sehingga tidak terjadi lagi overdesain kepada masyarakat industri.
2. Memberikan informasi mengenai jarak ideal antar frame pada lambung vessel sehingga diperoleh kekuatan vessel maksimum.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lambung vessel berbentuk silinder.
2. Bentuk ujung vessel adalah ellipsoidal.
3. Ketebalan shell pada ujung dan pada silinder adalah sama.
4. Frame yang berfungsi sebagai penegar (stiffener) adalah jenis eksternal ring stiffener.
5. Material yang dipakai adalah dari jenis HY 80 High Tension Steel.
6. Kedalaman operasinya 381 meter dibawah permukaan air laut.
7. Struktur ini memiliki ukuran utama yaitu panjang 360 in, dan diameter 180m.
8. Codes yang dipakai sebagai verifikasi dalam penelitian ini adalah dari ASME Section VIII Division I.
9. Tekanan yang terjadi pada lambung vessel adalah akibat dari tekanan hidrostatik dari kedalaman operasi vessel.
10. Analisa kekuatan dilakukan dengan pendekatan studi parametrik dengan variabel ketebalan, jarak frame dan tekanan yang disebabkan kedalaman operasi.
11. Model struktur yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah konfigurasi struktur silinder berujung ellipsoidal, seperti pada gambar dibawah ini





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Ada tiga jenis *dome* konvensional berdasarkan bentuk geometrinya (Liang, 1996), yaitu : *hemispherical dome*, *ellipsoidal dome*, dan *torispherical dome*. Adapaun beberapa formulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Formulasi untuk menghitung stress pada kulit silinder (Eugene F. M.,1995) adalah sebagai berikut :

❖ Untuk Circumferential Joint,

$$S_1 = \frac{PD}{4t} \quad (2.1)$$

❖ Untuk Longitudinal Joint,

$$S_2 = \frac{PD}{2t} \quad (2.2)$$

Dimana:

S_1 = Circumferential (hoop) stress, psi

S_2 = Longitudinal stress, psi

P = Internal or external pressure, psi

D = Mean diameter of vessel, inch

t = Thickness of shell, corrosion allowance excluded, inch

2. Formulasi untuk menghitung tekanan maksimum yang diijinkan (Maximum allowable working pressure) (Eugene F. M.,1995) pada :

❖ Shell Silinder

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)} \quad (2.3)$$

Dimana :

P_a = Maximum allowable working pressure, psig

D_o = Outside diameter, in

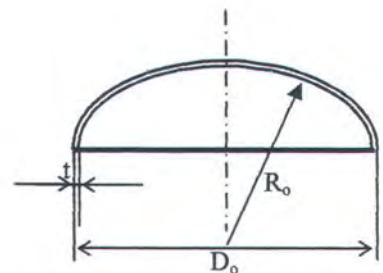
t = Minimum required wall thickness, in

B = Nilai diperoleh dari grafik the Value of Factor B

(Eugene F. M.,1995)

❖ Ellipsoidal Head

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Ellipsoidal Head

Dimana :

P_a = Maximum allowable working pressure, psig

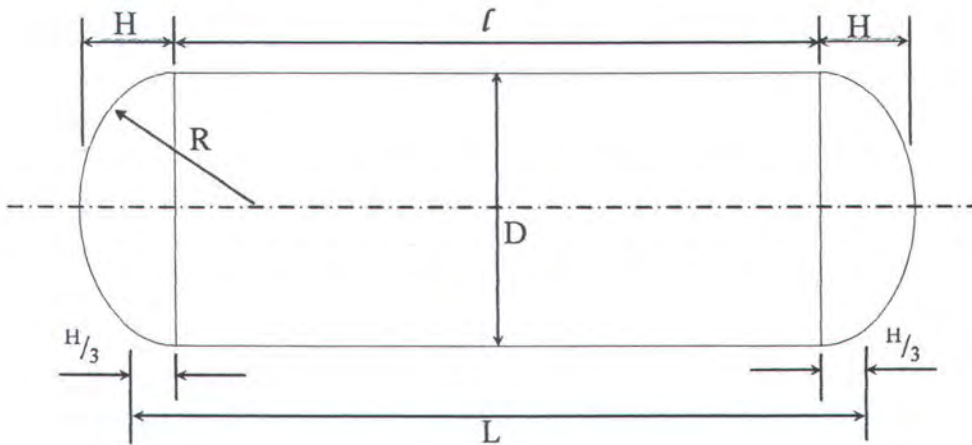
D_o = Outside Diameter of head skirt, in

R_o = Outside radius of head, 0.9 D_o for ellipsoidal head, in.

t = Minimum required wall thickness, in

B = Nilai diperoleh dari grafik the Value of Factor B

(Eugene F. M.,1995)



Gambar 2.2 *Underwater Habitat* berkonfigurasi Silinder berujung
Ellipsoidal Dome

Keterangan gambar,

R = Jari-jari dome, $0,9D$ untuk dome Ellipsoidal

D = Diameter silinder

L = Panjang Underwater habitat

l = Panjang silinder

Gambar 2.2 merupakan gambar yang dijadikan acuan dalam pemakaian persamaan (2.1) sampai (2.4),

3. Perhitungan tebal dinding silinder vessel yang menerima beban berupa tekanan eksternal (external pressure) (ASME Section VIII Division I)

Untuk silinder dengan $D_o/t \geq 10$, maka :

1. Anggaplah suatu harga tebal dinding t , dan kemudian hitunglah harga L/D_o dan D_o/t .

2. dengan harga kedua parameter L/D_o dan D_o/t tersebut , kita masuk ke diagram geometrik. Untuk $L/D_o < 50$, pergunakan harga $D_o/t = 50$, sedangkan untuk $L/D_o < 0.05$, dipergunakan harga $D_o/t = 0.05$
3. untuk harga L/D_o , kita masuk ke salah satu diagram geometrik pada sumbu vertikal dan dari titik harga L/D_o pada sumbu vertikal tersebut ditarik garis horizontal sampai memotong garis dengan parameter D_o/t yang dihitung pada langkah 1. dari titik potong tersebut tariklah garis vertikal sampai memotong sumbu horizontal , bacalah harga faktor A (halaman 8-9).
4. dengan harga faktor A yang diperoleh pada langkah 3, kita masuk ke diagram material. Mulai dari harga faktor A pada sumbu horizontal, tariklah garis vertikal sampai memotong garis temperatur operasi. Dari titik potong tersebut, tariklah garis horizontal ke kanan sampai memotong sumbu vertikal. Jika harga A yang terletak disebelah kiri garis temperatur. Ikuti langkah 7.
5. dari titik potong garis horizontal dengan sumbu vertikal yang diperoleh dari langkah 4, bacalah faktor B.
6. dengan harga faktor B yang diperoleh pada langkah 5, hitunglah P_a , yaitu tekanan eksternal maksimum yang diijinkan dari rumus :

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$$

7. dalam harga faktor A terletak disebelah kiri garis temperatur (langkah 4), maka P_a dihitung dari rumus :

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$$

8. kemudian bandingkan harga P_a yang diperoleh dari langkah 6 atau langkah 7 dengan harga P . tekanan eksternal yang membebani vessel. Jika $P_a < P$ maka prosedur 1 sampai dengan 8 harus diulang, dengan memilih harga anggapan t (tebal dinding) yang lebih besar. Jika $P_a \geq P$, maka harga anggapan t dapat diterima, kecuali jika $P_a \gg P$, maka perhitungan harus diulang dari langkah 1 dengan menganggap harga t yang lebih kecil.

Untuk silinder dengan $D_o/t < 10$, maka :

1. Pakailah prosedur yang sama dengan prosedur untuk $D_o/t > 10$ untuk memperoleh harga faktor B . untuk $D_o/t < 4$ (pada diagram geometrik, $D_o/t < 4$ tidak ada), maka harga faktor A dapat dihitung dari rumus berikut :

$$A = \frac{1.1}{(D_o/t)^2} \quad (2.5)$$

Untuk harga A yang lebih besar dari 0.10, maka penggunaan harga

$$A = 0.10.$$

2. dengan menggunakan harga faktor B yang diperoleh dari langkah 1 di atas, dihitung harga P_{a1} dari rumus berikut :

$$P_{a1} = \left[\frac{2.167}{(D_o/t)} - 0.0833 \right] B \quad (2.6)$$

3. kemudian hitung harga P_{a2} dari rumus berikut :

$$P_{a2} = \frac{2S}{(D_o/t)} \left[1 - \frac{1}{(D_o/t)} \right] \quad (2.7)$$

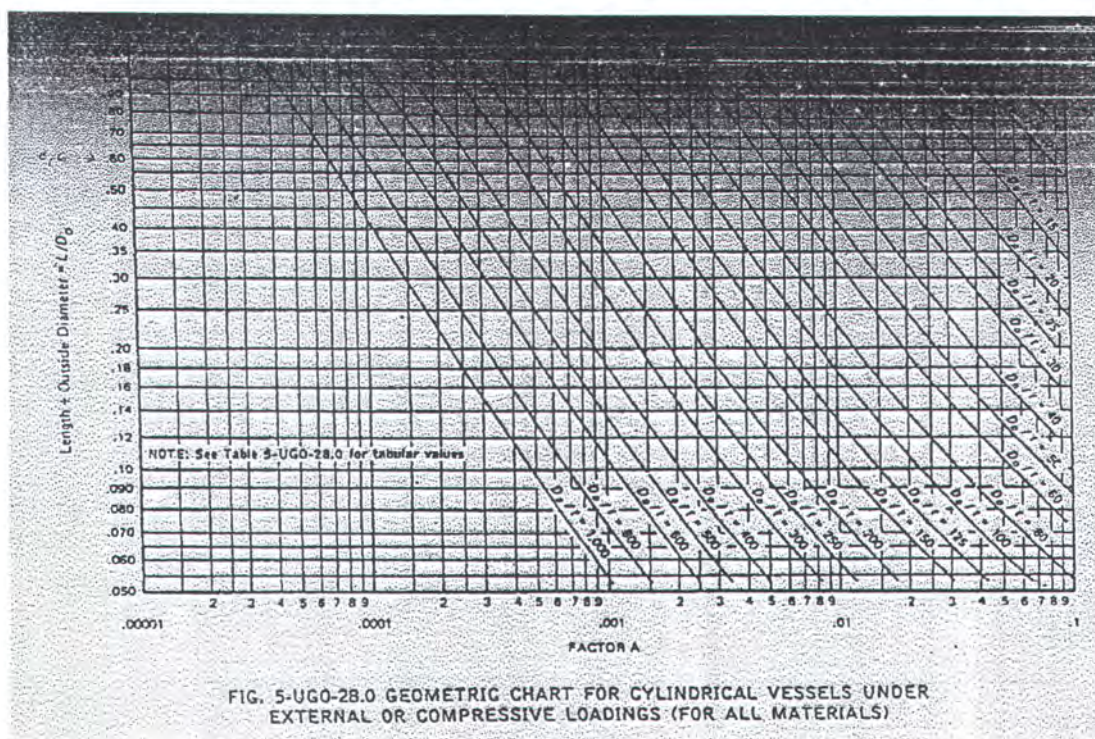
Dimana S adalah harga terkecil dari dua harga berikut ini

- ❖ dua kali harga tegangan maksimum yang diijinkan pada temperatur rancang, seperti yang tercantum pada tabel material (subsection C)
- ❖ 0.9 kali tegangan yield material pada temperatur rancang.

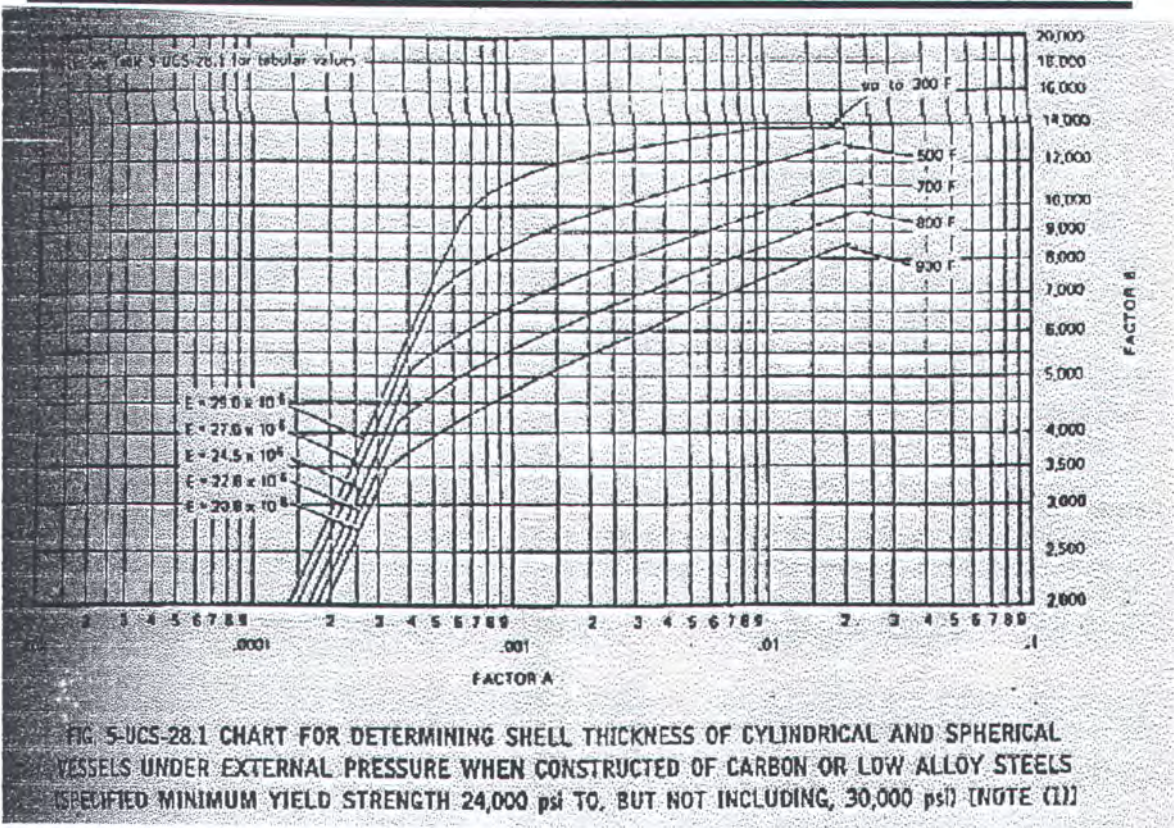
Harga tegangan yield diperoleh dari diagram tekanan yang berlaku sebagai berikut :

- ❖ untuk suatu kurva temperatur tertentu, tentukanlah harga faktor B yaitu harga ordinat titik ujung kanan dari kurva temperatur
- ❖ tegangan yield adalah dua kali harga B yang diperoleh pada (a)

Harga P_a yang terkecil adalah P_{a1} dan P_{a2} yang diperoleh pada langkah 2 dan langkah 3, dipergunakan sebagai harga tekanan eksternal yang diijinkan. Bandingkan harga P_a tersebut dengan tekanan eksternal P . jika $P_a < P$, maka harga tebal dinding t yang dianggap dapat diterima. Jika $P_a < P$, maka perhitungan harus diulang dengan memilih harga t yang lebih besar.

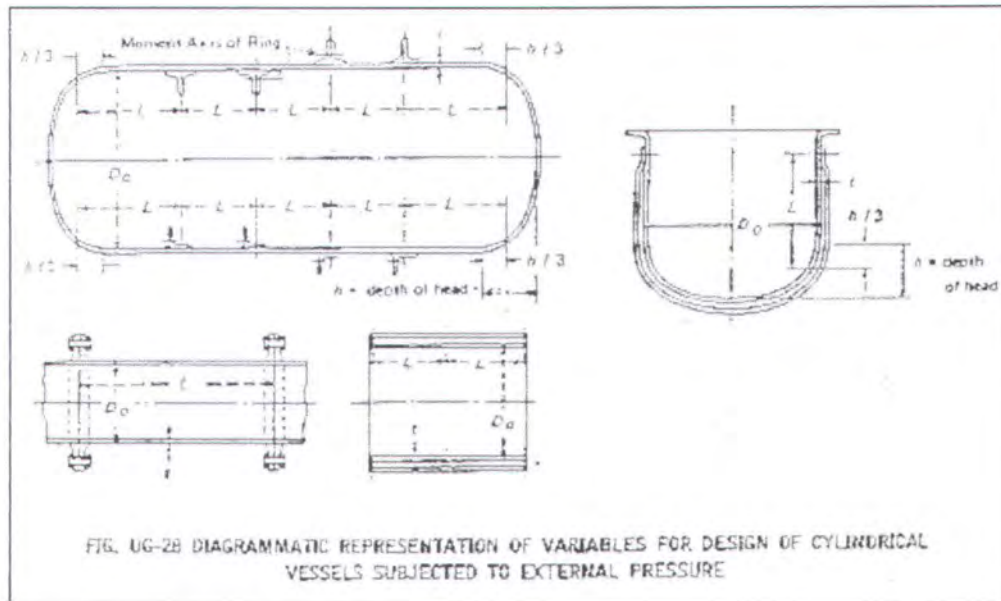


Gambar 2.3 The Values of Factor A



Gambar 2.4 The Values of Factor B

Perhitungan Frame pada vessel yang menerima beban berupa tekanan eksternal
Silinder vessel yang menerima beban berupa tekanan eksternal perlu diperkuat dengan frame yang konstruksinya dimuat dalam ASME Section VIII Division 1, seperti gambar 2.5 berikut,



Gambar 2.5 Silinder *Vessel* dengan menggunakan penguat *stiffener*

(Harsokoesoemo, 1996)

Frame dapat diletakkan di dalam atau di luar vessel dan harus disambungkan dengan silinder vessel dengan sambungan las, brazing atau sambungan baut.

Penentuan Frame adalah penentuan tentang:

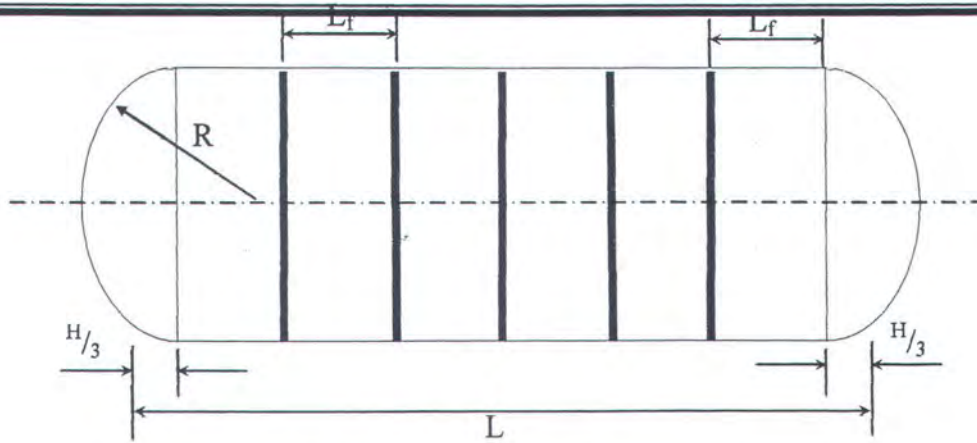
- ❖ Geometri (yaitu baja T, sudut, dll.)
- ❖ Dimensi
- ❖ Jarak antara Frame di sepanjang Silinder

Secara Matematis perhitungannya adalah sebagai berikut (McGrattan, 1998) :

Jarak antar frame (frame spacing) L_f :

$$L_f = R / \beta_0 \quad (2.8)$$

Dimana $\beta_0 = 1,5 - 3,5$



Gambar 2.6 Silinder dengan eksternal stiffener

Keterangan gambar :

L_f : Jarak antara Stiffener

Gambar tersebut merupakan acuan untuk perhitungan stiffener dengan menggunakan persamaan (2.8) sampai (2.10).

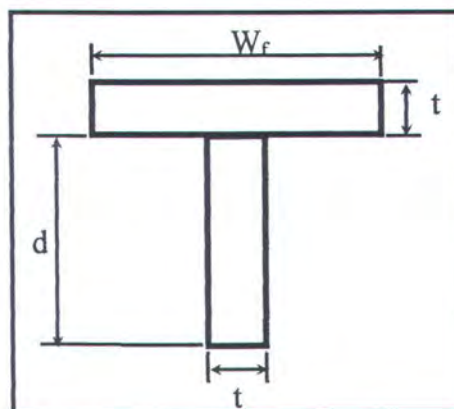
Jarak Efektif Maksimum Vessel dengan Internal stiffener L_s :

$$L_s = L_f + R/3 \quad (2.9)$$

Dan ukuran frame (frame size) A_f :

$$A_f = \beta_1 \times L_f \times t \quad (2.10)$$

Dimana : $\beta_1 = 0,3 - 0,6$



Gambar 2.7 Geometri Internal Stiffener Tipe T

Secara umum frame untuk stiffener silinder adalah berbentuk T, ukuran frame dapat dihitung berdasarkan jari-jari silinder dan ketebalan shell, dengan perincian sebagai berikut :

$d = 5\% - 10\%$ dari jari-jari silinder

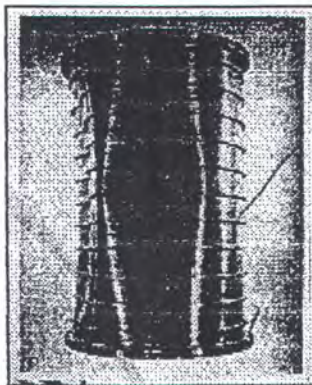
$w_f = \frac{3}{4} d$

4. Model kegagalan (Arentzent, 1960) yang terjadi pada silinder adalah sebagai berikut :

1. A general instability

A general instability disebabkan oleh elastic buckling pada shell dan *stiffener*, ciri kegagalan tipe ini adalah adanya bentuk deformasi seperti cekung atau cembung pada bagian shell dan stiffener. Dapat disimpulkan bahwa kegagalan tipe ini karena baik shell maupun stiffener tidak mampu menahan tekanan eksternal yang terjadi.

Gambar 2.8 menunjukkan kegagalan tipe *A general instability*



Gambar 2.8 *A general instability*

2. Buckling of Shell between Shell

Buckling of shell between frames merupakan elastic buckling pada shell, ciri kegagalan tipe ini adalah adanya bentuk deformasi cekung atau cembung pada shell

yang ada diantara stiffener. Dari model kegagalan ini dapat diketahui bahwa stiffener lebih tahan terhadap buckling dari pada shell. Gambar 2.9 menunjukkan kegagalan tipe *Buckling of Shell*.



Gambar 2.9 *Buckling of Shell*

3. *Yielding of the shell between frames*

Yielding of the shell between frames merupakan bentuk kegagalan pada shell, ciri kegagalan tipe ini adalah bentuk shell yang mengalami deformasi cekung diantara stiffener. Model kegagalan ini dapat disebabkan shell terlalu tipis atau jarak antar stiffener terlalu jauh. Gambar 2.10 menunjukkan kegagalan tipe *Yielding of shell*.



Gambar 2.10 *Yielding of shell*

Dan model kegagalan yang terjadi pada dome adalah sebagai berikut :

1. *Axisymmetric buckling*
2. *Lobar buckling*
3. *Axisymmetric yielding*

2.1 DASAR TEORI

2.2.1 Struktur Shell

Shell adalah bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung. Permukaan shell dapat mempunyai bentuk sembarang. Bentuk umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap suatu sumbu (misalnya, permukaan bola, elips, kerucut, dan parabola), permukaan translasional yang dibentuk dengan menggeser kurva bidang di atas kurva bidang lainnya (misalnya, permukaan parabolaeiptik dan silindris). Bentuk shell tidak harus selalu memenuhi persamaan matematis sederhana, segala bentuk shell mungkin saja digunakan untuk suatu struktur. Bagaimanapun, tinjauan konstruksional mungkin akan membatasi hal ini. (Schodek, 1999)

Beban-beban yang bekerja pada permukaan shell diteruskan ketumpuan dengan menimbulkan tegangan geser, tarik dan tekan pada arah dalam bidang (*in plane*) permukaan tersebut. Tipisnya permukaan shell menyebabkan tidak adanya tahanan momen yang berarti. Struktur shell tipis khususnya cocok digunakan untuk memikul beban terbagi merata pada seluruh permukaan. Struktur ini tidak cocok untuk memikul beban terpusat. Struktur shell selalu memerlukan penggunaan cincin tarik pada tumpuannya. Sebagai akibat cara elemen struktur ini memikul beban dalam bidang (terutama dengan cara tarik dan tekan), struktur cangkang dapat sangat tipis dan memiliki bentang yang relatif besar.

2.2.1.1 Aksi Membran

Cara yang baik untuk mempelajari perilaku permukaan shell yang dibebani adalah memandangnya sebagai analogi dari membran, yaitu elemen permukaan yang sedemikian tipisnya hingga hanya gaya tarik yang timbul padanya. Membran yang memikul beban tegak lurus dari permukaannya akan berdeformasi secara tiga dimensional disertai terjadinya gaya tarik tarik pada permukaan membran.

2.2.1.2 Jenis-jenis Gaya pada Shell

Adanya dua kumpulan gaya pada arah yang saling tegak lurus di dalam permukaan shell menjadikan shell berperilaku seperti plat dua arah. Gaya geser yang bekerja di antara jalur jalur plat yang bersebelahan pada struktur plat planar mempunyai kontribusi dalam memberikan kapasitas pikul beban plat. Hal yang sama terjadi pada struktur shell. Adanya dua karakteristik inilah, yaitu adanya gaya geser dan dua kumpulan gaya aksial, yang membedakan perilaku struktur shell dan perilaku struktur yang dibentuk dari pelengkung yang dirotasikan terhadap satu titik hingga didapat bentuk seperti shell.

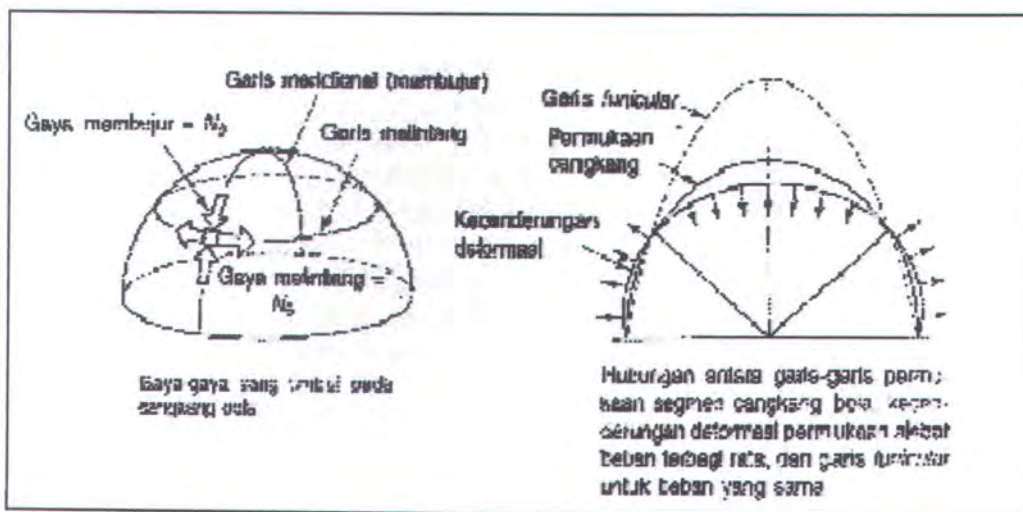
Pada shell, gaya-gaya dalam bidang (*in plane force*) yang berarah meridional (disebut gaya meridional, lihat gambar 2.11 dan 2.12) diakibatkan oleh beban penuh. Shell adalah struktur yang unik, shell dapat bekerja secara funicular untuk banyak jenis beban yang berbeda meskipun bentuknya tidak benar-benar funicular.

Gaya meridional pada shell yang mengalami beban vertikal penuh adalah selalu gaya tekan, sedangkan gaya melingkar dapat berupa gaya tarik maupun tekan, tergantung pada lokasi shell yang ditinjau. Pada shell yang setengah lingkaran, atau shell tinggi, ada kecenderungan pada jalur meridional bawah untuk berdeformasi ke arah luar.

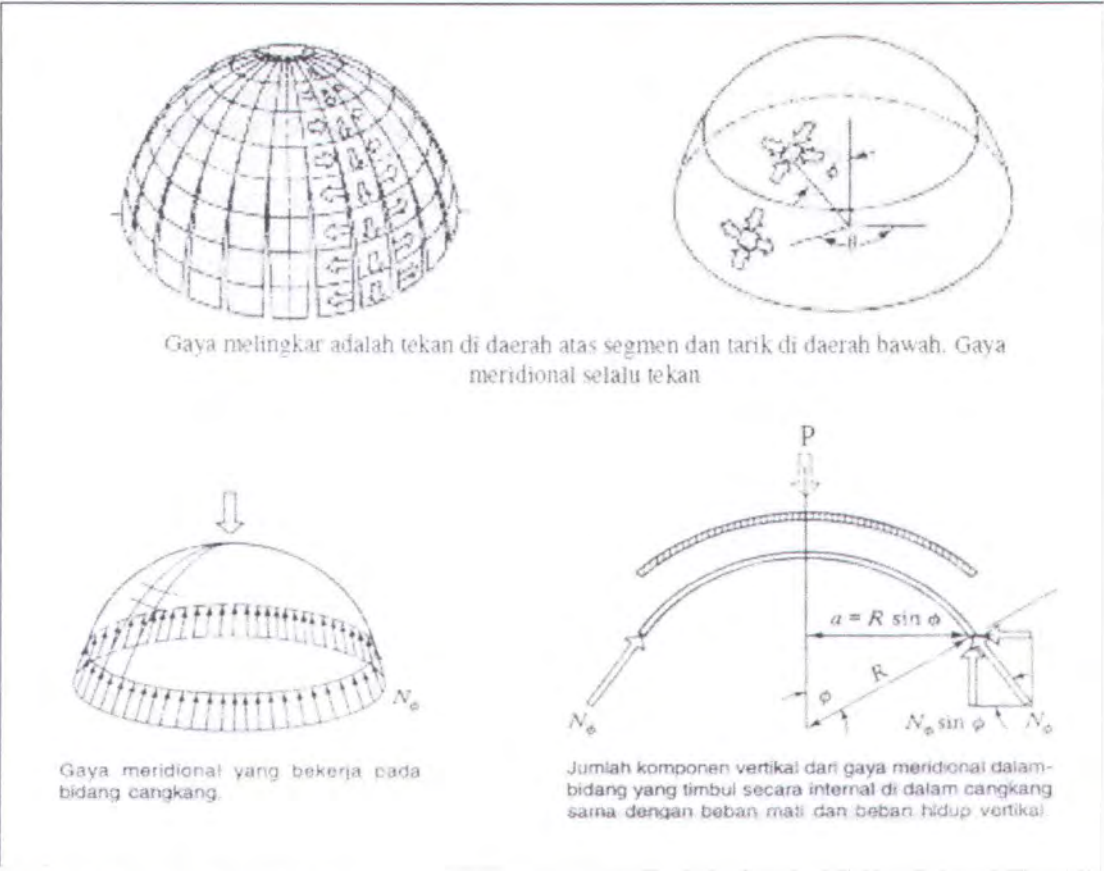
Jadi jelas gaya-gaya melingkar yang terjadi adalah gaya tarik. Didekat puncak shell tersebut, jalur meridional cenderung berdeformasi ke dalam, yang berarti gaya melingkar adalah tekan.

Tegangan yang diasosiasikan dengan gaya melingkar dan meridional umumnya kecil untuk kondisi beban ternagi merata, beban terpusat pada umumnya menyebabkan terjadinya tegangan yang sangat besar, karena itu sebaiknya dihindari pada permukaan shell.

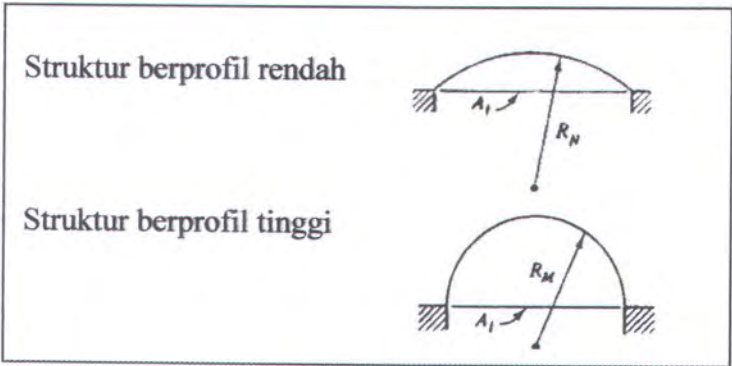
Lubang pada permukaan shell mungkin saja ada, tetapi sebaiknya dihindari karena hal itu mengganggu kontinuitas dan juga mengurangi efisiensi permukaan shell. Apabila memang harus ada lubang, shell harus secara khusus diperkuat di tepi lubang tersebut.



Gambar 2.11 Gaya-gaya pada Shell Sphere (Schodek, 1999)



Gambar 2.12 Gaya Melingkar dan Meridional pada Shell Sphere (Schodek, 1999)



Gambar 2.13 Tinjauan Profil

2.2.1.3 Gaya Melingkar pada Shell

Gaya melingkar (hoop force), yang biasanya disebut N_θ dan dinyatakan sebagai gaya persatuan panjang dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan dalam arah transversal. Karena beban yang kita tinjau berarah ke dalam, bukan radial ke luar, maka gaya eksternal perlu disesuaikan. Komponen radial dari beban ke bawah dapat ditulis,

$$P_r = P \cos \phi \quad (2.11)$$

Jadi ekspresi yang menghubungkan gaya melingkar dan meridional adalah :

$$P \cos \phi = \frac{N_\phi}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_2} \quad (2.12)$$

atau

$$N_\theta = r_2 \left(P \cos \phi \right) - \left(\frac{r_2}{r_1} \right) N_\phi \quad (2.13)$$

Untuk bola $r_1 = r_2 = R$, dan mensubstitusikan ekspresi N_ϕ , maka kita peroleh :

$$N_\theta = -RP \left(\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi} \right) \quad (2.14)$$

Inilah adalah ekspresi sederhana untuk gaya melingkar yang dinyatakan dalam jari-jari bola (R) dan beban ke bawah (P).

Apabila beban total yang bekerja ke bawah (P) ditentukan, maka gaya pada shell dapat diperoleh secara langsung, karena gaya-gaya ini dinyatakan dalam gaya persatuan panjang, maka tegangan yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas dapat diperoleh dengan membagi dengan tebal shell. Jadi,

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{t} \quad (2.15)$$

2.2.1.4 Gaya Meridional pada Shell

Tegangan dan gaya pada shell aksisimetris yang dibebani terbagi rata dapat diperoleh secara mudah dengan menggunakan persamaan keseimbangan dasar.

Perhatikan segmen kubah (seperti yang terlihat pada gambar 2.11 dan 2.12). Anggap bahwa struktur ini menerima beban mati yang berasal dari berat sendiri shell dan lapisan penutupnya. Apabila beban mati total tersebut kita sebut P dan gaya dalam bidang persatuan panjang yang ada pada permukaan shell adalah ϕN , maka tinjauan keseimbangan akan menghasilkan ekspresi sebagai berikut :

$$F_y = 0$$

$$P = -(N_\phi \sin \Phi)(2\pi \alpha) \quad (2.16)$$

Dimana :

Φ : sudut yang mendefinisikan potongan cangkang

A : jari-jari kelengkungan sesaat di titik tersebut

N_Φ : gaya dalam-bidang yang terjadi pada potongan horizontal yang didefinisikan dengan Φ .

Dengan $\alpha = R \sin \phi$

Maka,

$$N_\theta = -\frac{P}{2\pi R \sin^2 \phi} \quad (2.17)$$

Apabila beban total yang bekerja ke bawah (P) ditentukan, maka gaya pada shell dapat diperoleh secara langsung, karena gaya-gaya ini dinyatakan dalam gaya persatuan panjang, maka tegangan yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas dapat diperoleh dengan membagi dengan tebal shell. Jadi,

$$\sigma_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{t} \quad (2.18)$$

Apabila beban per satuan luas yang bekerja ke bawah pada cangkang disebut $_$, maka keseimbangan dalam arah vertikal akan menghasilkan :

$$F_Y = 0$$

$$\int_{\phi_1}^{\phi_2} P(2\Pi R \sin \phi) R d\phi + N_{\phi} \sin \phi (2\Pi R \sin \phi) = 0 \quad (2.19)$$

Dengan ϕ_1 dan ϕ_2 mendefenisikan segmen shell yang ditinjau. Suku sebelah kiri adalah W. untuk $\phi_1 = 0$, maka :

$$N_{\phi} = -\frac{RP}{1 + \cos \phi} \quad (2.20)$$

Ekspresi ini kenyataanya identik dengan :

$$N_{\phi} = -\frac{P}{2\Pi R \sin^2 \phi} \quad (2.21)$$

Kedua ekspresi tersebut menunjukkan gaya meridional yang ada pada potongan horizontal.

2.2.2. Konsep Tegangan

2.2.2.1. Tegangan Aksial/Normal

Tegangan normal pada struktur dapat diakibatkan karena dua hal yaitu yang disebabkan oleh gaya aksial dan lenturan.

❖ Disebabkan oleh gaya aksial

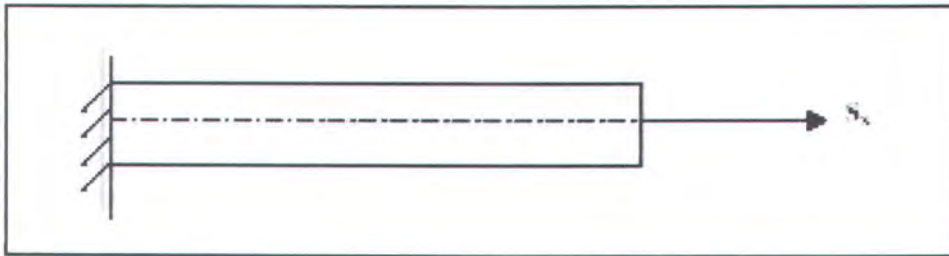
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.22)$$

Dimana :

A : Luas Penampang lintang (in^2)

F : Gaya tarik (lb)

Pada gambar 2.14 batang mengalami pembebanan aksial akibat gaya tarik P. Akibat gaya ini, batang akan mengalami tegangan aksial sebesar (Popov, 1993):



Gambar 2.14 Pembebanan aksial pada batang tubular (Popov, 1993)

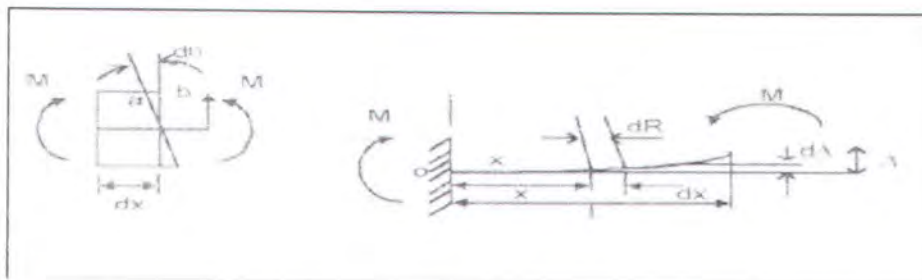
❖ Disebabkan oleh lenturan, ada dua kondisi lenturan yaitu :

Pada batang lurus
$$\sigma = -\frac{My}{z} \quad (2.23)$$

Pada lengkung simetris
$$\sigma = \frac{My}{Ae(R-y)} \quad (2.24)$$

❖ Disebabkan oleh momen lentur murni.

Selain akibat gaya aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi di setiap ujungnya (gambar 2.15). Tegangan yang terjadi akibat momen ini dikenal sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.



Gambar 2.15 Pembebanan momen kopel pada batang tubular (Popov, 1993)

Dimana :

y = jarak dari sumbu netral ke sembarang titik A pada penampang (gambar 2.15)

I_z = momen inersia bidang penampang melintang terhadap sumbu z

Interaksi antara kedua jenis tegangan aksial di atas dalam kaitannya dengan superposisi antara kedua jenis tegangan aksial tersebut, menghasilkan koreksi pada besar tegangan lentur. Pengurangan besar tegangan lentur akibat adanya akibat tegangan tarik dapat diabaikan tetapi pertambahan besar tegangan lentur akibat terbentuknya tegangan *buckling* yang disebabkan oleh tegangan aksial tekan perlu diperhatikan.

2.2.2.2. Tegangan Geser

Penyebab terjadinya tegangan geser ada dua jenis yaitu tegangan geser yang disebabkan oleh puntiran dan gaya geser dalam balok.

❖ Disebabkan oleh puntiran

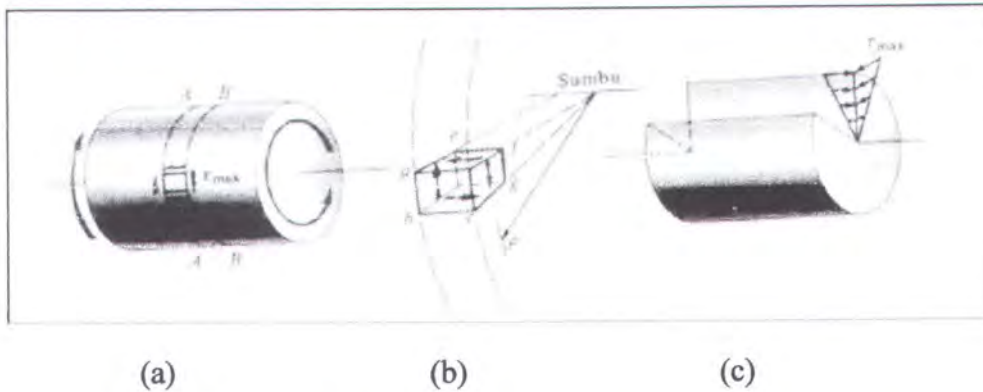
$$\text{Poros melingkar} \quad \tau = \frac{T\rho}{I_p} \quad (2.25)$$

$$\text{Poros sikuempat} \quad \tau = \frac{T}{\alpha bc^2} \quad (2.26)$$

$$\text{Tabung dinding tipis tertutup} \quad \tau = \frac{T}{2At} \quad (2.27)$$

$$\text{❖ Disebabkan oleh gaya geser dlm balok} \quad \tau = \frac{V_o}{It} \quad (2.28)$$

Batang penampang bulat juga akan mengalami tegangan geser walau besarnya tidak begitu berarti. Pada gambar 2.16 tampak batang mengalami pembebanan puntiran T pada kedua ujungnya.



Gambar 2.16 Gaya puntiran pada batang silinder (Popov, 1993)

Tegangan maksimum yang akan terjadi pada permukaan luar batang dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{T.R}{J} \quad (2.29)$$

dimana : J = momen inersia kutub

T = momen torsi terkonsentrasi

R = jari-jari penampang batang

$$\text{Nilai } J: J = \frac{\pi}{2}(R_o^4 - R_i^4) \quad \text{utk circular ring} \quad (2.30)$$

$$J = \frac{\pi}{2}(R^4) \quad \text{utk round bar} \quad (2.31)$$

Tegangan yang bekerja pada penampang lintang lingkaran dan R adalah jari-jari penampang batang. Tegangan geser yang bekerja pada penampang melintang lingkaran selalu berarah tegak lurus jari-jari dan mempunyai arah yang sama dengan momen puntir.

2.2.3 Penerapan Tegangan Bidang

2.2.3.1. Bejana Tekan Bola (*Spherical*)

Bejana tekan adalah struktur yang tertutup yang mengalami tekanan oleh cairan atau gas, apabila bejana tekan mempunyai dinding yang tipis dibandingkan dengan jari-jari dan panjangnya, maka struktur ini disebut Struktur Shell (cangkang), contoh-contoh struktur shell adalah atap kubah, ketel, sayap pesawat, dinding kapal selam. Bejana bertekanan dipandang berdinding tipis apabila rasio jari-jari r terhadap tebal dindingnya t lebih besar dari 10 (Timoshenko, 1984)

Untuk bejana tipis tekan berdinding tipis. berbentuk bola (Gambar 2.17). Bola merupakan bentuk yang secara teoritis ideal untuk suatu bejana yang menahan tekanan internal maupun eksternal, untuk menentukan tegangan di bejana bola, mari kita membuat potongan yang melalui bola pada bidang diametral vertikal (Gambar 2.18) dan isolasikan setengah dari cangkang dan isi fluida di dalamnya sebagai suatu benda bebas (Gambar 2.18). Pada benda bebas ini bekerja tegangan tarik di dinding bejana tekan dan tekanan fluida p . Tekanan bekerja secara horizontal terhadap bidang lingkar dari fluida yang tersisa di dalam setengah bola. Karena tekanan ini seragam, maka gaya tekanan resultan adalah

$$P = P (r^2) \quad (2.32)$$

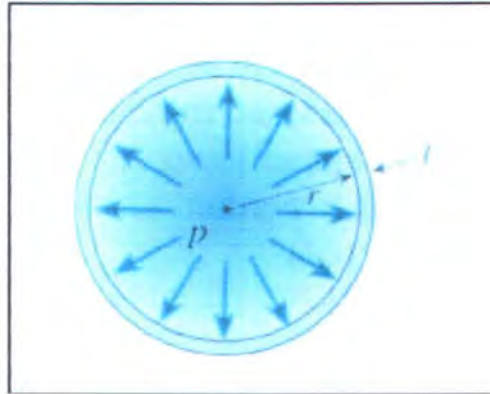
Dimana :

r = jari-jari dalam sphere

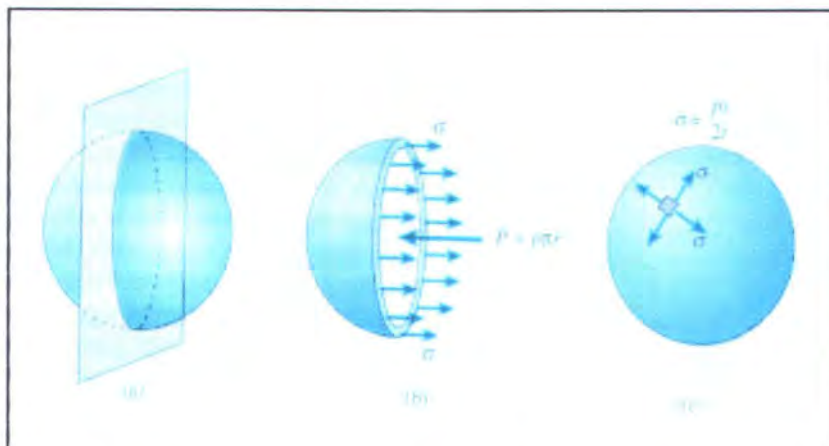
P = tekanan (Pressure)

perlu diingat bahwa tekanan P bukan tekanan absolut melainkan tekanan internal neto atau tekanan terukur.

Tekanan terukur adalah tekanan internal di atas tekanan yang bekerja di luar, jika tekanan internal dan eksternal sama, maka tidak ada tegangan yang timbul di dinding bejana hanya kelebihan tekanan internal terhadap tekanan eksternal (atau sebaliknya) yang mempunyai efek terhadap tegangan. (Timoshenko, 1984)



Gambar 2.17 Potongan Melintang Bejana Tekan Berbentuk Bola
(Timoshenko, 1999)



Gambar 2.18 Tegangan Tarik di Dinding Bejana Tekan Berbentuk Bola
(Timoshenko, 1999)

Karena bejana dan pembebanannya simetris (Gambar 2.17) maka tegangan tarik akan seragam disekelilingnya. Selain itu, karena dindingnya tipis, maka kita dapat mengasumsikan dengan ketelitian cukup baik bahwa tegangan terdistribusi rata di seluruh tebal t , ketelitian dari pendekatan ini bertambah apabila shell menjadi lebih

tipis, dan ketelitian dari pendekatan ini berkurang bila shell bertambah tebal. Resultan dari tegangan tarik di dinding adalah gaya horizontal yang sama dengan tegangan dikalikan dengan luas dimana tegangan tersebut bekerja, atau secara matematis :

$$\sigma = (2 r_m t) \quad (2.33)$$

dimana : t = tebal shell

$$r_m = \text{jari-jari rata-rata } (r_m = r + \frac{1}{2})$$

akibatnya, keseimbangan gaya dalam arah horizontal (Gambar 2.18) menghasilkan

$$F_{\text{horis}} = 0$$

$$(2 r_m t) - p(r^2) = 0 \quad (2.34)$$

Sehingga kita peroleh tegangan tarik di dinding bejana :

$$\sigma = \frac{Pr^2}{2r_m t} \quad (2.35)$$

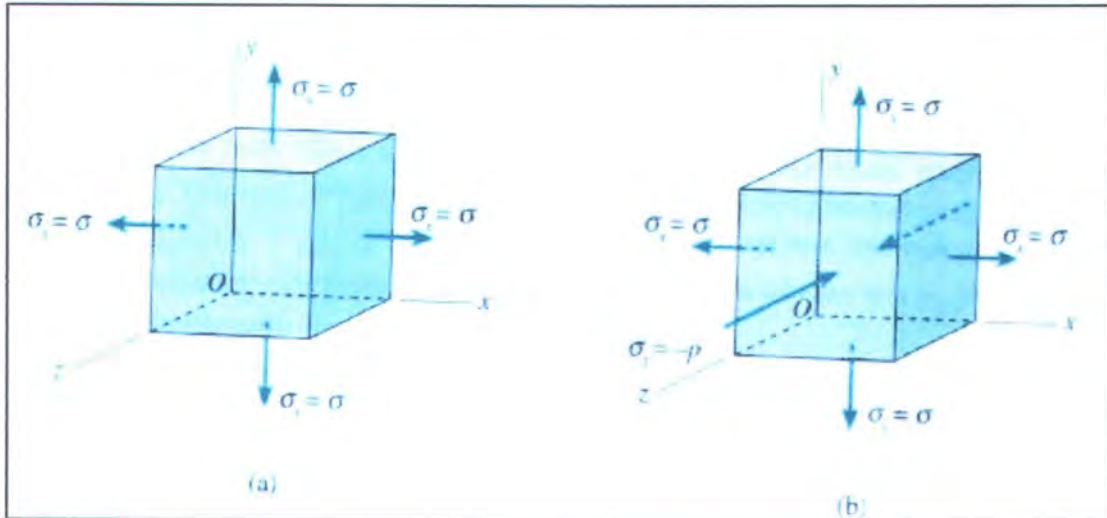
Karena analisa kita berlaku hanya untuk shell tipis, maka kita dapat mengabaikan perbedaan kecil antara dua jari-jari dan menggantikan r_m dengan r atau sebaliknya. Meskipun keduanya memadai dari tinjauan ketelitian, namun ternyata tegangan akan mendekati tegangan eksak teoritis jika kita menggunakan jari-jari dalam r , bukan menggunakan jari-jari rata-rata r_m . dengan demikian kita akan memakai rumus berikut untuk menghitung tegangan tarik di dinding suatu shell bola :

$$\sigma = \frac{Pr}{2t} \quad (2.36)$$

A. Tegangan Dipermukaan Luar

Bejana tekan berbentuk bola bila permukaan luarnya terkena tekanan maka biasanya permukaan dalamnya bebas dari beban, atau sebaliknya. Dengan demikian, elemen yang terlihat dalam gambar 2.16c berada dalam keadaan biaksial. Untuk memudahkan analisa tegangan yang bekerja di elemen, kita tunjukkan itu lagi dalam

gambar 2.19, dimana satu set sumbu koordinat diorientasikan sejajar sisi-sisi elemen. Sumbu x dan y adalah tangensial terhadap permukaan bola dan sumbu z adalah tegak lurus permukaan. Jadi, tegangan normal σ_x dan σ_y sama dengan tegangan membran σ , dan tegangan normal σ_z adalah nol. Tidak ada tegangan geser di sisi-sisi elemen ini.



Gambar 2.19 Tegangan di Bejana Tekan Bola pada Permukaan: (a) Luar, (b) Dalam
(Timoshenko, 1999)

Jika kita menganalisa elemen dalam gambar 2.18 dengan menggunakan persamaan transformasi untuk tegangan bidang kita peroleh,

$$\sigma_{x_1} = \sigma \text{ dan } \sigma_{x_1 y_1} = 0$$

sesuai perkiraan. Dengan kata lain, apabila kita meninjau elemen yang diperoleh dengan memutar sumbu-sumbu terhadap sumbu z, maka tegangan normal akan tetap konstan dan tidak ada tegangan geser. Setiap bidang adalah bidang utama dan setiap arah adalah arah utama. Jadi tegangan utama untuk elemen tersebut adalah

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{Pr}{t} ; \quad \sigma_3 = 0 \quad (2.37)$$

Tegangan σ_1 dan σ_2 terletak pada bidang xy dan tegangan σ_3 berarah sumbu z.

Untuk mendapatkan tegangan geser maksimum, kita meninjau rotasi ke bidang luar, yaitu rotasi terhadap sumbu x dan y (karena semua tegangan geser bidang adalah nol). Elemen yang berorientasi dengan membuat rotasi sudut 45° terhadap sumbu x dan y mempunyai tegangan geser maksimum sama dengan $\tau/2$, dan tegangan normal sama dengan $\tau/2$. dengan demikian,

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma}{2} = \frac{Pr}{4t} \quad (2.38)$$

Tegangan ini adalah tegangan geser terbesar di elemen tersebut.

B. Tegangan Dipermukaan Dalam

Di permukaan dalam dari dinding sebuah bejana berbentuk bola, elemen tegangan (Gambar 2.19b) mempunyai tegangan membran τ_y sama dengan elemen dipermukaan luar (Gambar 2.19a). selain itu, tegangan tekan τ_z sama dengan tekanan p yang bekerja di arah z (Gambar 2.19b). tegangan tekan ini berkurang dari p dipermukaan dalam ke nol di permukaan luar.

Elemen yang terlihat dalam gambar 2.19b adalah tegangan triaksial dengan tegangan utama

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{Pr}{t} ; \quad \sigma_3 = 0 \quad (2.39)$$

Tegangan geser dalam bidang dalam bidang adalah nol, tetapi tegangan geser ke luar dibidang maksimum (diperoleh dengan rotasi 45° terhadap sumbu x dan y) adalah

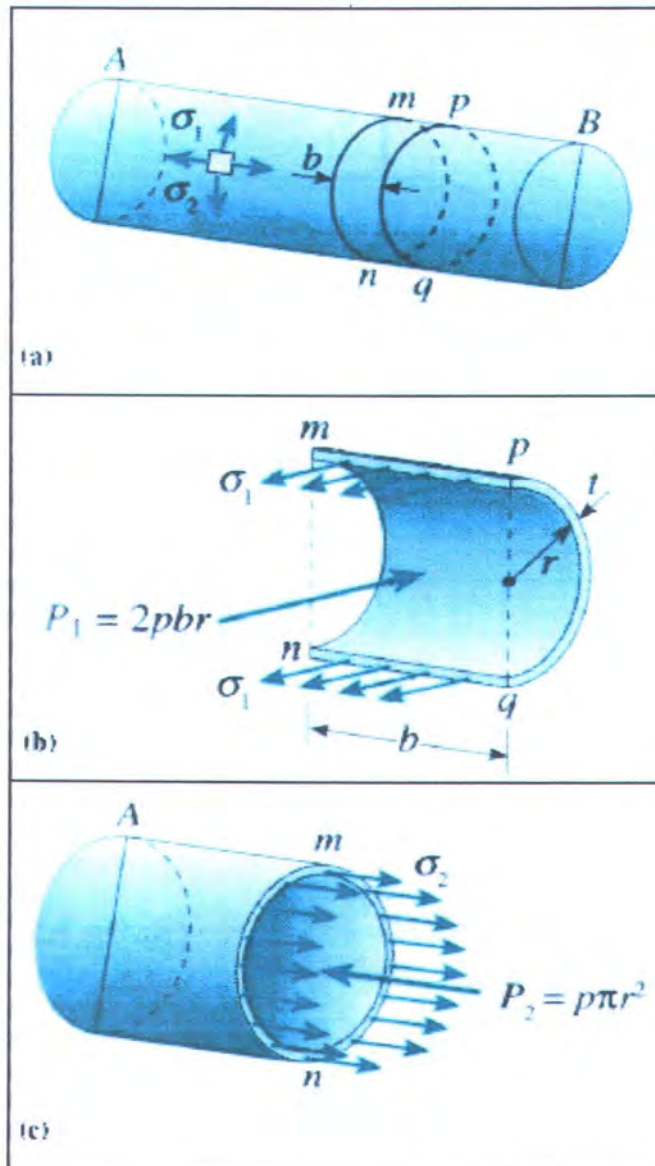
$$\tau_{\max} = \frac{\sigma + p}{2} = \frac{Pr}{4t} + \frac{P}{2} = \frac{P}{2} \left(\frac{r}{2} + 1 \right) \quad (2.40)$$

Apabila bejana tersebut berdinding tipis dan rasio r/t besar, maka kita dapat mengabaikan angka 1 dibandingkan dengan suku $r/2t$. Dengan kata lain, kita dapat

mengabaikan adanya tegangan utama τ_3 dalam arah z karena sangat kecil dibandingkan dengan tegangan utama τ_1 dan τ_2 . Dengan demikian, kita dapat menganggap keadaan tegangan dipermukaan dalam sama dengan dipermukaan luar (biaksial). Pendekatan ini konsisten dengan pendekatan teori shell tipis sehingga kita akan menggunakan persamaan (2.36), (2.37), dan 2.38) untuk mendapatkan tegangan dimanapun di dinding suatu bejana tekan berbentuk bola, termasuk dipermukaan dalam.

2.2.3.2. Bejana Tekan Silinder

Analisa bejana silinder dimulai dengan menentukan tegangan normal di tangki lingkaran berdinding tipis AB yang mengalami tekanan internal (Gambar 2.19a). Sebuah elemen tegangan mukanya sejajar dan tegak lurus dengan sumbu tangki di tunjukkan di dinding tangki. Tegangan normal σ_1 dan σ_2 yang bekerja dimuka-muka samping elemen ini adalah tegangan membran di dinding. Tidak ada tegangan geser yang bekerja dimuka-muka ini karena simetrisnya bejana dan beban. Dengan demikian, tegangan σ_1 dan σ_2 tegangan utama. Karena arahnya, tegangan σ_1 disebut tegangan melingkar (*circumferential stress* atau *hoop stress*), dan σ_2 disebut tegangan longitudinal (tegangan aksial). Setiap tegangan ini dapat dihitung dari keseimbangan dengan menggunakan diagram benda bebas.



Gambar 2.20 Tegangan di Bejana Tekan Silindrikal (Timoshenko, 1999)

Untuk menentukan tegangan melingkar σ_1 , kita membuat dua potongan (mn dan pq) tegak lurus sumbu sumbu longitudinal dan jarak b (Gambar 2.20a). Lalu, kita membuat potongan tipis di bidang vertikal yang melalui sumbu longitudinal tangki, sehingga menghasilkan diagram benda bebas yang terlihat dalam gambar 2.19b. diagram benda bebas ini terdiri atas tidak hanya setengah lingkaran tangki, tetapi juga fluida yang terkandung di dalam potongan. Yang bekerja dipotongan

tegangan dan tekanan juga bekerja di muka kiri dan kanan dari diagram benda bebas. Namun, tegangan-tegangan ini tidak ditunjukkan dalam gambar karena tegangan-tegangan tersebut tidak masuk kedalam persamaan keseimbangan yang akan kita gunakan. Seperti analisa pada bejana bola kita akan mengabaikan berat tangki dan isinya.

Tegangan melingkar σ_1 yang bekerja di dinding bejana mempunyai resultan sama dengan $\sigma_1 (2bt)$, dimana t adalah tebal dinding. Juga, gaya resultan p_1 dari tekanan internal adalah $2pbr$, dimana r adalah jari-jari silinder. Jadi kita mempunyai keseimbangan sebagai berikut :

$$\sigma_1(2bt) - 2pbr = 0 \quad (2.41)$$

Dari persamaan ini kita peroleh rumus berikut untuk tegangan melingkar di silinder :

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \quad (2.42)$$

Tegangan ini terdistribusi terbagi rata di seluruh tebal dinding, asalkan tebal tersebut jauh lebih kecil dibanding jari-jarinya.

Tegangan longitudinal σ_2 diperoleh dari keseimbangan diagram benda bebas dari bagian bejana di kiri potongan mn (Gambar 2.20c). lagi-lagi, diagram benda bebas tersebut meliputi bukan hanya bagian dari tangki, melainkan juga isinya. Tegangan σ_2 bekerja dalam arah longitudinal dan mempunyai resultan yang sama dengan $\sigma_2(2\sigma rt)$. Perhatikan bahwa kita menggunakan jari-jari dalam dari shell tersebut sebagai ganti dari jari-jari rata-rata.

Gaya resultan P_2 dari tekanan internal adalah gaya yang sama dengan $p r_2$. Jadi, persamaan keseimbangan untuk benda bebas ini adalah :

$$\sigma_2 (I I r t) - p I I r = 0 \quad (2.43)$$

Dengan memecahkan persamaan ini untuk σ_2 , kita peroleh rumus berikut untuk tegangan longitudinal di bejana tekan silinder :

$$\sigma_2 = \frac{Pr}{t} \quad (2.44)$$

A. Tegangan di Permukaan Luar

Tegangan Utama σ_1 dan σ_2 di permukaan luar bejana silinder di tunjukkan pada elemen tegangan pada gambar 2.20a. karena tegangan utama yang ketiga (yang bekerja dalam arah z) adalah nol, maka elemen ini berada dalam keadaan tegangan biaksial.

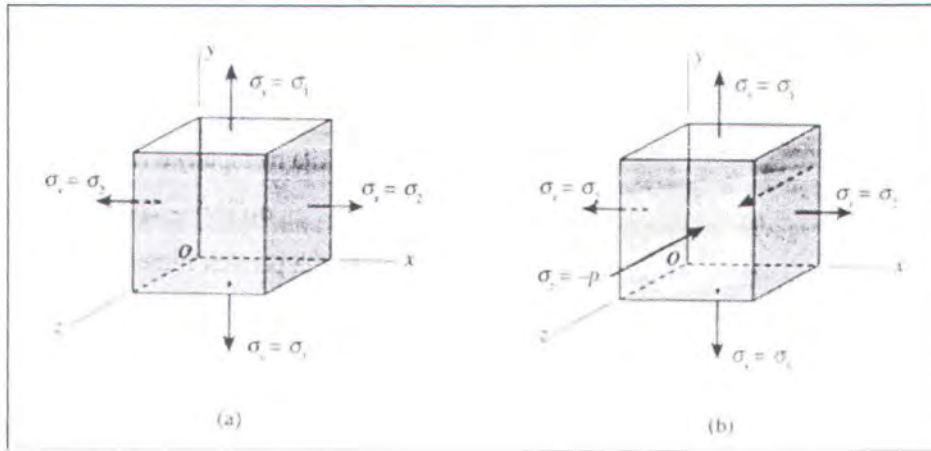
Tegangan geser maksimum bidang ini terjadi di bidang-bidang yang berotasi 45° terhadap sumbu z; tegangan-tegangan tersebut adalah

$$(\tau_{\max})_z = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_1}{4} = \frac{Pr}{4t} \quad (2.45)$$

Tegangan geser maksimum ke luar bidang diperoleh dengan rotasi 45° terhadap sumbu x dan y, jadi :

$$(\tau_{\max})_x = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{Pr}{2t} \quad (2.46)$$

$$(\tau_{\max})_y = \frac{\sigma_2}{2} = \frac{Pr}{2t} \quad (2.47)$$



Gambar 2.21 Tegangan di Bejana Tekan Bola pada Permukaan: (a) Luar, (b) Dalam
(Timoshenko, 1999)

Dengan membandingkan hasil-hasil sebelumnya, kita lihat bahwa tegangan geser maksimum absolut adalah :

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{pr}{2t} \quad (2.48)$$

Tegangan geser ini terjadi di bidang yang telah diputar 45° terhadap sumbu x.

B. Tegangan di Permukaan Dalam

Kondisi tegangan di permukaan dalam dari bejana ditunjukkan dalam gambar 2.21b.

Tegangan utamanya adalah

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t}; \quad \sigma_2 = \frac{pr}{2t}; \quad \sigma_3 = -p \quad (2.49)$$

Ketiga Tegangan geser maksimum, yang diperoleh dengan memutar 45° terhadap sumbu x, y, dan z adalah

$$(\tau_{\max})_x = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{pr}{2t} + \frac{p}{2} \quad (2.50)$$

$$(\tau_{\max})_y = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} = \frac{pr}{4t} + \frac{p}{2} \quad (2.51)$$

$$(\tau_{\max})_z = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_1}{4} = \frac{pr}{4t} \quad (2.52)$$

Yang pertama dari ketiga tegangan ini adalah yang terbesar. Namun, sebagaimana diuraikan dalam pembahasan tegangan geser di shell bola, kita dapat mengabaikan suku tambahan $p/2$ dalam pembahasan (2.49) dan (2.50) apabila shellnya tipis. Persamaan (2.49), (2.50), dan (2.51) akan menjadi sama dengan persamaan (2.46), (2.47), dan (2.48).

2.2.4 Teori Kegagalan Statis

Penerapan Teori kegagalan Statis dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu

A. Teori Kegagalan Statis untuk *ductile material*

1. Teori *Distorsi Energi / Teori Von Mises*
2. Teori *Pure Shear-Stress*
3. Teori *Maximum Shear-Stress*
4. Teori *Total Strain Energy*
5. Teori *Maximum Normal Stress*

B. Teori Kegagalan Statis untuk *brittle material*.

1. Teori *Maximum Normal Stress*
2. Teori *Coulomb-Mohr*
3. Teori *Modified Mohr*

Dalam penelitian kali ini kita hanya membahas tiga teori kegagalan statis untuk *ductile material*. Teori kegagalan statis menyebutkan bahwa bila *Safety Factor* (SF) lebih kecil atau sama dengan satu maka struktur dinyatakan gagal (*failure*). Dan untuk lebih lengkapnya adalah sebagai berikut.

1. Teori Distorsi Energi / Teori Von Mises

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \quad (2.53)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}{2}} \quad (2.54)$$

dimana :

σ_y : *yield stress of material*

σ_v : *Von Moisses stress*

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: *tegangan utama (principle stress)*

2. Teori Pure Shear-Stress

$$SF = \frac{\sigma_{sy}}{\tau_{\max}} \quad (2.55)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (2.56)$$

dimana :

τ_{sy} : *0,577 τ_y*

τ_{\max} : *Maximum shear stress*

3. Teori Maximum Shear-Stress

$$SF = \frac{\sigma_{sy}}{\tau_{\max}} \quad (2.57)$$

dimana :

τ_{sy} : *0,5 τ_y*

τ_{\max} : *Maximum shear stress*

2.2.5 Matrik Kekakuan Elemen

Kekakuan pada dasarnya menghubungkan displasmen pada sambungan/simpul dengan gaya-gaya luar yang bekerja pada sambungan tersebut. Analisis struktur dengan metode energi mengharuskan struktur hanya menerima beban yang bekerja pada titik simpul. Namun pada kondisi pembebanan yang sebenarnya, gaya umumnya terdistribusi secara merata sepanjang elemen.

$$[K] \{q\} = \{Q\} \quad (2.58)$$

dimana :

$[K]$: matriks kekakuan

$\{q\}$: matriks vektor lendutan simpul

$\{Q\}$: matriks vektor dari gaya simpul gabungan

Lendutan yang diperoleh pada tiap elemen ini adalah lendutan yang ditinjau dari sumbu koordinat lokal atau koordinat elemen. Untuk masalah-masalah yang sederhana, matriks kekakuan bisa ditentukan dengan menggunakan azas keseimbangan, namun hal tersebut sulit dilakukan pada masalah atau sistem yang sedikit kompleks. Matriks kekakuan dipengaruhi pada tiga hal yaitu model lendutan yang dipakai, geometri dan elemen-elemennya dan sifat material elemen. Karena sifat material ini bisa berbeda-beda untuk setiap elemen maka metode ini memungkinkan untuk dipakai pada sistem atau struktur yang terdiri dari bermacam-macam material yang berbeda sifatnya.

2.2.5.1 Penggabungan Elemen

Proses penggabungan elemen didasarkan pada anggapan terjadinya kontinuitas pada sambungan yang menghubungkan satu elemen dengan elemen lainnya. Pada proses ini persamaan yang dihasilkan adalah seperangkat persamaan aljabar simultan. Untuk masalah teknik yang nyata (sistem yang terdiri dari banyak elemen) ukuran matriksnya akan besar sekali dan hampir tidak mungkin untuk diselesaikan secara manual. Disinilah peran komputer dengan kecepatan tinggi mutlak diperlukan. Persamaan global yang harus diselesaikan dalam proses penggabungan elemen ini adalah:

$$[K] \{r\} = \{R\} \quad (2.59)$$

dimana :

$[K]$: matriks kekakuan

$\{r\}$: matriks vektor lendutan untuk seluruh sistem yang dianalisis

$\{R\}$: matriks pembebanan global

Matriks kekakuan dan pembebanan global pada persamaan tersebut adalah matriks kekakuan dan pembebanan lokal yang sudah ditransformasikan ke dalam koordinat global atau koordinat struktur. Jadi dalam proses penggabungan elemen ini perlu didefinisikan terlebih dahulu matriks transformasi atau matriks rotasinya

2.2.5.2 Perhitungan Lendutan

Setelah persamaan global dan kondisi batasnya dapat dihubungkan, maka persamaan aljabar simultan tersebut dapat diselesaikan untuk mendapatkan besarnya lendutan. Untuk persamaan linier hal ini mudah untuk diselesaikan, namun untuk yang nonlinier tidaklah mudah, sehingga beberapa metode bantu untuk memodifikasi

persamaan digunakan untuk maksud tersebut, sehingga mempercepat proses manipulasi yang dilakukan komputer.

2.2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima. Karena melalui prosedur numerik, maka keunggulan metode elemen hingga dibanding metode-metode klasik yang ada adalah kemampuannya (terutama dalam analisa tegangan dan peralihan atau deformasi) untuk problem-problem yang rumit.

Prinsip dasar dari metode elemen hingga adalah dengan melalui pembagian-pembagian elemen yang kecil pada struktur yang sesungguhnya. Akan tetapi dalam melakukan pemotongan-pemotongan (meshing) struktur menjadi bagian-bagian yang lebih tidak boleh dilakukan secara acak dan sembarang, karena struktur tersebut akan melemah, artinya pada potongan-potongan tersebut akan mempunyai konsentrasi tegangan pada titik-titik kumpulnya (nodal point) dan akan cenderung menjadi tumpang tindih atau terpisahkan disepanjang potongan tersebut, padahal kejadian untuk struktur aktual secara keseluruhan tidaklah demikian. Jadi elemen hingga yang ada harus dapat berdeformasi dengan cara terbatas.

Untuk memformulasikan suatu elemen, kita harus mencari gaya-gaya pada titik simpulnya (nodal force), yang akan menghasilkan ragam deformasi elemen (gaya pada titik simpul ini dapat dicari dengan teori dasar untuk elemen hingga), seperti pada balok (beam) dan batang (bar). Akan tetapi untuk elemen yang didefinisikan dengan menggambarkan garisgaris pada suatu kontinum (seperti untuk elemen cangkang) diperlukan prosedur baru.

Keuntungan dari metode elemen hingga adalah adanya arti fisik yang cukup dekat antara jaring elemen dengan struktur aktualnya. Jaringan elemen yang dimaksud bukan merupakan abstrak matematis yang sulit untuk divisualisasikan. Tetapi seperti adanya hukum alam, ada kelebihanannya pasti ada kekurangannya.

Kekurangan dari metode elemen hingga adalah hasil yang diperoleh untuk suatu masalah tertentu adalah berupa hasil numerik; tidak ada persamaan bentuk tertutup yang dapat dipakai untuk kasus serupa yang berbeda hanya parameternya saja. Jadi tetap harus dilakukan analisa yang dimulai dari tahap awal. Hal ini yang membuat metode elemen hingga menjadi mahal, karena memang memerlukan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan kasus per kasus.

Selain itu diperlukan pengalaman dan intuisi yang baik bagi para engineer agar diperoleh bentuk jaring yang memadai untuk setiap kasus. Banyak sekali data yang harus dimasukkan, begitu pula data keluaran yang telah disortir oleh program komputer harus di cek kembali. Sekalipun demikian kekurangan seperti ini bukan hanya terjadi pada metode elemen hingga saja.

Program komputer NASTRAN dikembangkan sebagai salah satu sarana penyelesaian untuk analisis statis, linear, nonlinear static dan dynamic dari tubular structure, meliputi non-linear dynamic finite elemen analisis yang diaplikasikan untuk menyakinkan performance dan moda kegagalan lokal.

Linear global analisis digunakan untuk menyatakan apakah over stress yang terjadi pada member merupakan lokal atau global. Dimana struktur melewati perkiraan bahwa tidak ada elemen yang melampaui ultimate strengthnya. Linear global analisis diperlukan dalam pertimbangan pada member lokal yang mengalami overload. Engineering menyatakan bahwa overload yang terjadi pada lokal area yang terpisah

(terisolasi) dapat diterima, dimana member memiliki stress rasio lebih besar dari 1. Hal ini dapat ditunjukkan bahwa overload dapat dihilangkan selama distribusi dari beban diwakili oleh bagian-bagian kecil dari beban pada member, atau jika diinginkan hasil yang lebih akurat dan perhitungan detil untuk menyatakan member mengalami overload atau tidak. Hal ini dapat ditunjukkan sebaiknya didasarkan pada asumsi-asumsi dengan pertimbangan dari member terhadap integritas struktur dan performance dari platform. Hal ini penting untuk menunjukkan tambahan dari linear analysis terhadap kegagalan dari elemen struktur .

Global inelastic analysis dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa platform cukup kuat dan stabil setelah menerima pembebanan akibat dent. metode dari analisis, secara spesifik metode analisis tergantung pada tipe dari pembebanan lingkungan yang paling ekstrim.

2.2.7 Formula Tambahan

Beberapa formulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hydrostatic Pressure

$$\text{Pressure at d m} = (1 + d/10) \text{ bar} \quad (2.60)$$

2. Hukum Boyle

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.61)$$

Dimana :

P = Absolute pressure

V = Volume

T = Temperatur ($^{\circ}\text{K}$)

Depth (m)	Pressure (kPa)	Volume (L)
Surface	1	1,0
10	2	0,5
20	3	0,33
30	4	0,25
40	5	0,2
50	6	0,16

Tabel 2.1 Tabel perubahan Volume gas akibat pertambahan kedalaman
(Allwood,1990)



BAB III

METODOLOGI

BAB III

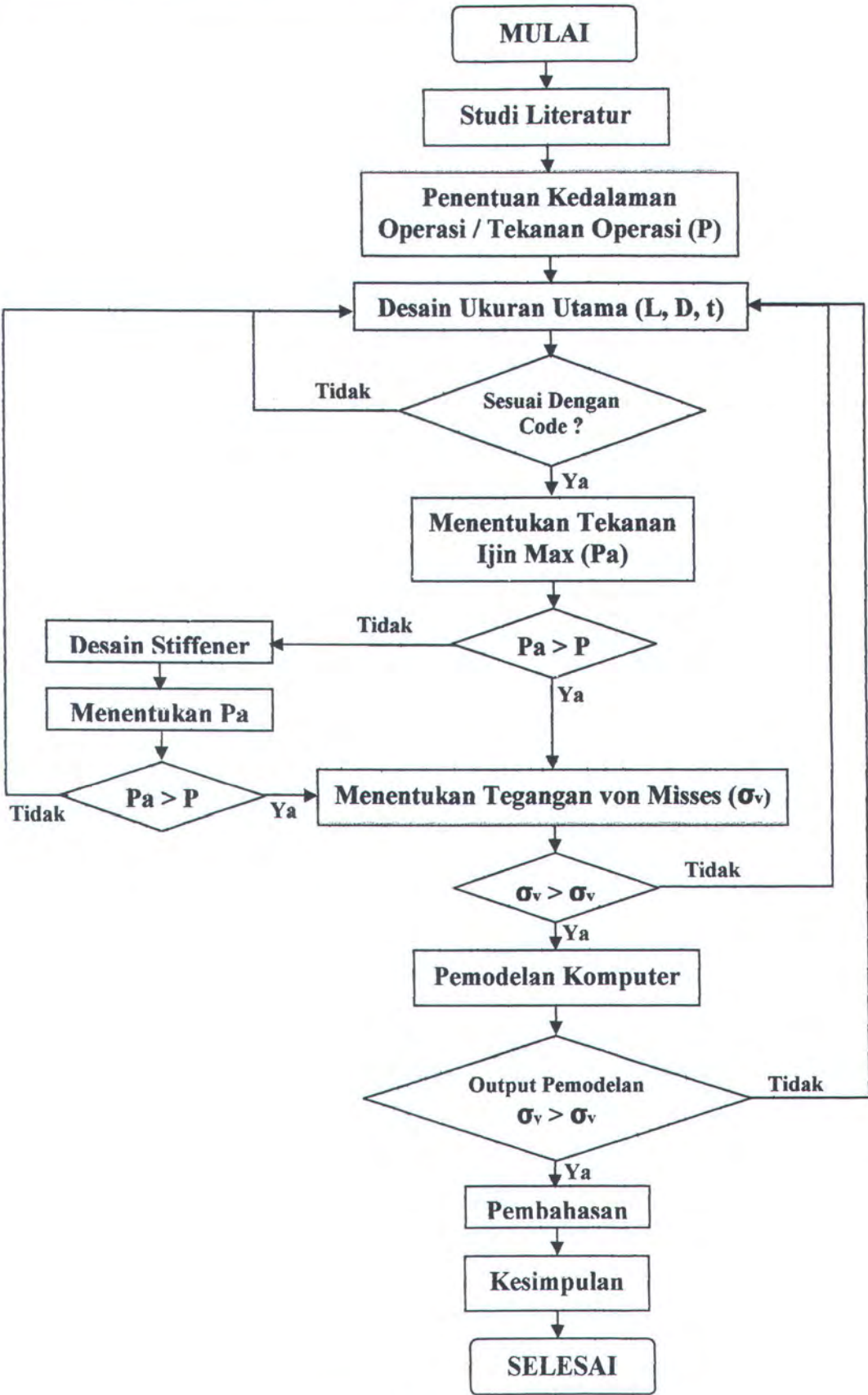
METODOLOGI

Untuk mencapai penyelesaian dalam menyelesaikan masalah dan memperoleh hasil yang baik maka digunakan metodologi sebagai berikut :

1. Melakukan studi literature buku-buku atau jurnal yang berkaitan dengan Underwater Habitat, Vessel, Struktur.
2. Menentukan kedalaman operasi vessel (underwater habitat) yang akan diteliti, sehingga didapatkan acuan jelas besar pressure yang akan diterima oleh vessel. Hubungan antara kedalaman operasi dan tekanan operasi yang diakibatkannya secara matematis telah disebutkan pada dasar teori.
3. Merancang awal vessel, meliputi ukuran-ukuran utama seperti diameter silinder, panjang silinder, bentuk dome vessel. kemudian di check apakah sesuai dengan standart yang ada.
4. Memeriksa perbandingan antara L/D_o dan D_o/t apakah keduanya masih diijinkan atau tidak, jika tidak maka kita harus melakukan desain ulang.
5. Menentukan tekanan ijin maksimum (P_a) yang dapat diterima oleh struktur, kemudian membandingkannya dengan tekanan operasi (P), apabila tekanan ijin maksimum lebih besar dibanding tekanan operasi ($P_a > P$), maka analisa dapat dilanjutkan, tetapi bila sebaliknya ($P_a < P$) maka dapat digunakan *stiffener* pada silinder yang diharapkan dapat meningkatkan nilai tekanan ijin maksimum (P_a).

6. Menentukan ukuran dan jarak antar *stiffener* (berdasarkan aturan yang ada seperti tertulis pada dasar teori), sehingga struktur mendapat kekuatan tambahan menghadapi tekanan hidrostatik.
7. Jika dengan penggunaan *stiffener* tekanan operasi (P) lebih kecil dibanding tekanan ijin maksimum (P_a) maka dapat dilakukan analisa terhadap tegangan *von mises* (σ_v) yang terjadi pada struktur, dan membandingkannya dengan tegangan *yield* (σ_y) yang nilainya ditentukan oleh jenis material.
8. Apabila tegangan *von mises* (σ_v) yang terjadi pada struktur lebih kecil dari tegangan *yield* (σ_y), maka analisa dapat dilanjutkan, tetapi bila sebaliknya ($\sigma_y < \sigma_v$) maka harus dilakukan disain awal .
9. Selanjutnya adalah melakukan pemodelan komputer, dalam hal ini menggunakan bantuan *software* berbasis “Metode Elemen Hingga” yaitu MSC. Nastran for Windows Version 4.5.
10. Hasil dari pemodelan komputer berupa tegangan *von mises* (σ_v) dibandingkan tegangan *von mises* yang dihitung manual berdasarkan teori, apabila perbedaannya relatif kecil, maka pemodelan dapat diterima.
11. Selanjutnya membandingkan antara tegangan *von mises* (σ_v) hasil dari pemodelan komputer dengan tegangan *yield* (σ_y), bila ($\sigma_y > \sigma_v$) maka desain *Underwater Habitat* secara keseluruhan dapat diterima, bila ternyata ($\sigma_y < \sigma_v$), maka harus dilakukan desain ulang terhadap ukuran utama.
12. Melakukan pembahasan terhadap seluruh proses pengerjaan mulai dari desain awal sampai hasil dari pemodelan komputer.
13. Membuat kesimpulan.

Langkah-langkah metodologi diatas digambarkan dalam diagram alir seperti yang disajikan pada gambar 3.1,



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

ANALISA DATA

& PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 UMUM

Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software* berbasis “Metode Elemen Hingga” yaitu MSC. Nastran for Windows Version 4.5 (selanjutnya disingkat Nastran 4.5), Nastran 4.5 adalah *software* pemodelan elemen hingga yang memungkinkan dilakukannya analisa engineering dengan cepat dan akurat, Nastran 4.5 menyediakan fasilitas agar kemampuannya dapat dikembangkan, misalnya dalam analisa tekanan, analisa temperatur dll. Selain itu *software* ini juga mudah diakses oleh *software* CAD yang ada (misalnya Auto CAD), Software Office (Microsoft Word), dan Software berbasis “Metode Elemen Hingga” lainnya (seperti Ansys).

4.2 DESAIN STRUKTUR

Desain *Underwater Habitat* diawali dengan penentuan material, ukuran utama, yaitu panjang silinder, diameter silinder serta diameter ellipsoidal dome, selanjutnya penentuan kedalaman operasi, dari kedalaman operasi diperoleh tekanan (*pressure*) operasi, selanjutnya dilakukan perhitungan ketebalan shell minimum serta ukuran dan jarak stiffener agar dapat menahan tekanan operasi yang terjadi.

4.2.1 Material

Material yang digunakan adalah HY80 High Tension Steel, dengan properti sebagai berikut :

Mass Density, $\rho = 0,283 \text{ Psi}$

Young's Modulus, $E = 3 \times 10^7 \text{ Psi}$

Poisson's Ratio, $\nu = 0,282$

Ultimate Stress, $\sigma_{ult} = 105.000 \text{ Psi}$

Yield Stress, $\sigma_y = 80.000 \text{ Psi}$

4.2.2 Ukuran Utama

Ukuran utama *Underwater Habitat* adalah sebagai berikut :

L = 360 in

D = 180 in



4.2.3 Kedalaman dan Tekanan Operasi

Kedalaman operasi yang digunakan dalam desain *Underwater Habitat* ini adalah 1250 ft (381 m). Maka, berdasarkan persamaan (2.62), maka diperoleh tekanan operasi (P) sebesar 567 Psi (39,1 bar)

4.2.4 Perhitungan Ketebalan Shell *Dome*

Untuk menghitung ketebalan shell pada *dome* maka langkah-langkah yang harus dilalui adalah seperti yang tertulis pada Dasar Teori (BAB II), adalah sebagai berikut :

Penentuan ketebalan shell dilakukan secara iterasi, bila ternyata ketebalan desain awal tidak mampu untuk menahan tekanan operasi maka ketebalannya ditingkatkan, atau sebaliknya.

Maka diambil ketebalan shell (t) sebesar 2,5 in.

Tekanan Ijin (P_a), Perhitungan menggunakan persamaan (2.4),

$$P_a = \frac{B}{(R_o / t)}$$

$$= 657,41 \text{ Psi}$$

Tekanan Ijin P_a (657,41 Psi) lebih besar dari pada tekanan operasi P (567 Psi),

➤ ***Safety Factor (SF) untuk External Pressure pada Dome***

Safety Factor untuk external pressure adalah perbandingan antar Tekanan Ijin (P_a) yang boleh dikenai terhadap struktur dengan Tekanan operasi (P) yang dialami oleh struktur, maka :

$$SF = \frac{P_a}{P} = \frac{657,41}{567} = 1,16$$

Karena safety factor lebih besar dari 1 ($SF > 1$). maka, desain ketebalan shell (t) 2,5 in untuk dome dapat diterima untuk dipakai pada ***Underwater Habitat*** yang dioperasikan pada kedalaman **1250 ft** (381 m).

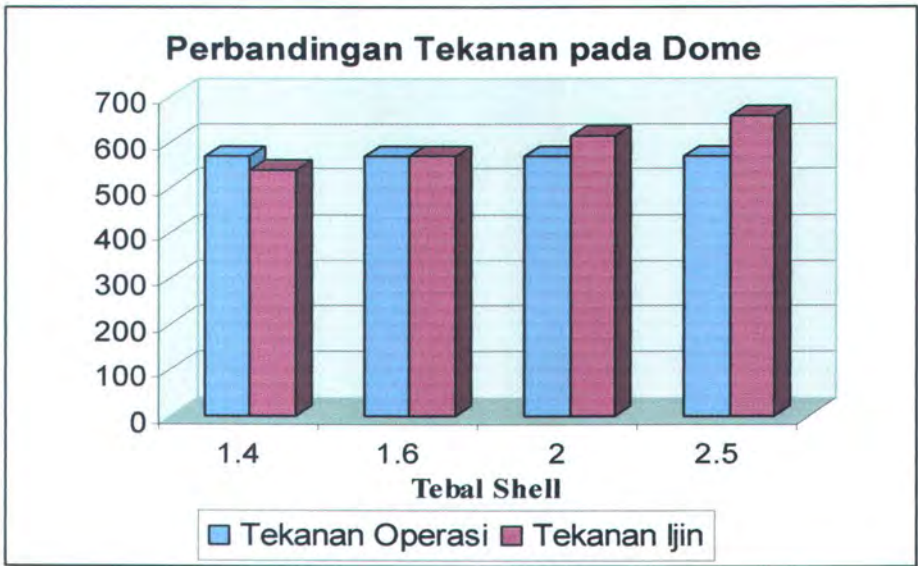
4.2.4.1 Proses Iterasi pada Dome

Nilai ketebalan shell 2,5 in dipilih untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan ketebalan shell minimum yang dapat dipakai pada kedalaman operasi tertentu, 2,5 in adalah ukuran minimum ketebalan shell pada *dome* yang masih aman dengan SF paling kecil ($SF = 1,16$), penulis telah melakukan beberapa kali iterasi terhadap nilai ketebalan shell pada *dome*, ringkasan proses iterasi disajikan pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Dome

No	Ketebalan Shell t (in)	Tekanan (Psi)		SF
		Operasi	Ijin	
1	1.4	567	538.65	0.95
2	1.6	567	567.75	1.0
3	2	567	612.36	1.08
4	2,5	567	657.41	1.16

Dan secara grafis disajikan dalam gambar 4.1,



Gambar 4.1 Perbandingan Tekanan pada Dome

4.2.5 Perhitungan Ketebalan Shell Silinder

Untuk menghitung ketebalan shell pada silinder maka langkah-langkah yang harus dilalui adalah seperti yang tertulis pada Dasar Teori (BAB II), adalah sebagai berikut:

Penentuan ketebalan shell dilakukan secara iterasi, bila ternyata ketebalan desain awal tidak mampu untuk menahan tekanan operasi maka ketebalannya ditingkatkan, atau sebaliknya.

Maka diambil ketebalan shell (t) sebesar 2,5 in.

- (i) Faktor L , D_0 , t .

$$L/D_0 = 360/180,8 = 1,99$$

$$D_0/t = 180,6/2,5 = 72$$

Melalui Grafik 1. *The Values of Factor A*, diperoleh nilai faktor $A = 0,0013$

- (ii) Tekanan Ijin (P_a), Perhitungan menggunakan persamaan (2.4),

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_0/t)}$$

$$= 361,111 \text{ Psi}$$

Tekanan Ijin P_a (361,111 Psi) lebih kecil dari pada tekanan operasi P (567 Psi), sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang ketebalan shell atau menggunakan stiffener agar tekanan operasi lebih kecil dari pada tekanan ijin. Dalam hal ini penulis menggunakan stiffener sebagai solusi atas permasalahan diatas, dengan pertimbangan bahwa untuk dengan menggunakan stiffener ternyata lebih hemat dalam penggunaan material dan dapat mengurangi deformasi yang terjadi pada shell dibandingkan dengan mempertebal shell.

4.2.5.1 Perhitungan Stiffener

Dengan pertimbangan diatas. Maka, dilakukan perhitungan *Stiffener*.

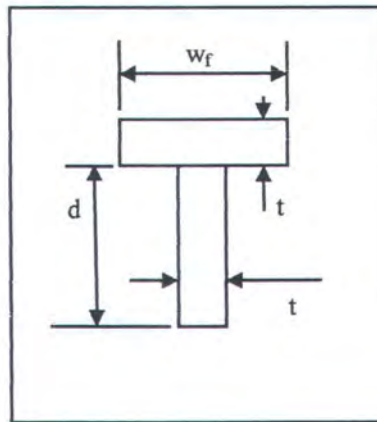
- (i) Jarak antar Stiffener L_f , Perhitungan menggunakan persamaan (2.10)

$$L_f = R/0,75$$

$$= 90/0,75 = 120 \text{ in}$$

(ii) Properti Stiffener

Stiffener yang dipakai berjenis internal dengan bentuk T (seperti gambar)



Gambar 4.2 Geometri Internal Stiffener Tipe T

Dimana :

$$t = 2.5 \text{ in.}$$

$$d = 10\% \times R$$

$$= 10\% \times 90 = 9 \text{ in}$$

$$w_f = \frac{3}{4} \times d$$

$$= \frac{3}{4} \times 9 = 6.5 \text{ in}$$

(iii) Faktor L , L_s , D_0 , t . dengan stiffener

(Perhitungan L_s menggunakan persamaan (2.11))

$$L_s = L_f + 1/3 R$$

$$= 120 + (1/3 \times 90) = 150 \text{ in}$$

Sehingga,

$$L_s/D_o = 150/180,8 = 0,83$$

$$D_o/t = 180,8/2.5 = 72$$

Melalui Grafik 1. *The Values of Factor A*, diperoleh nilai faktor $A = 3,5 \times 10^{-3}$

- (iii) Tekanan Ijin (P_a), Perhitungan menggunakan persamaan (2.4)

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$$

$$P_a = \frac{2 \times 3,5 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^7}{3(72)} = 972,22 \text{ Psi}$$

➤ **Safety Factor (SF) untuk External Pressure pada silinder**

Safety Factor untuk external pressure adalah perbandingan antar Tekanan Ijin (P_a) yang boleh dikenai terhadap struktur dengan Tekanan operasi (P) yang dialami oleh struktur, maka :

$$SF = \frac{P_a}{P} = \frac{972,22}{567} = 1,71$$

Karena safety factor lebih besar dari 1 ($SF > 1$). maka, desain ketebalan shell (t) 2,5 in, dan jarak jarak antar *external stiffener* (bentuk T) 120 in. dapat diterima untuk dipakai pada **Underwater Habitat** yang dioperasikan pada kedalaman 1250 ft (381 m).

4.2.5.2 Proses Iterasi pada Silinder

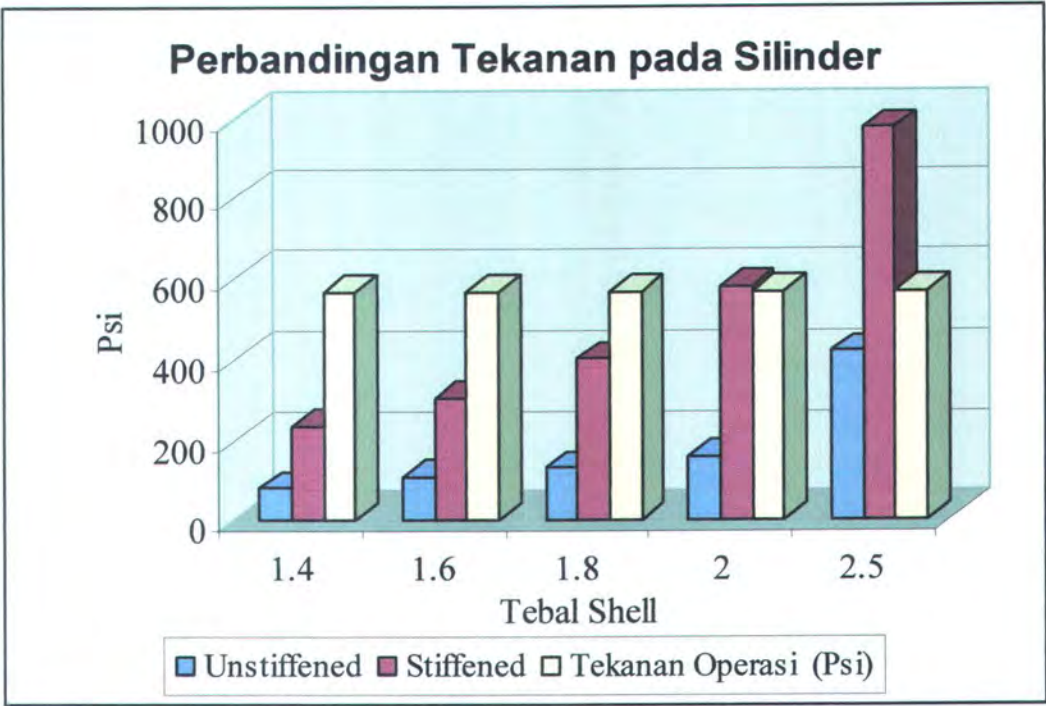
Nilai ketebalan shell 2,5 in dipilih untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan ketebalan shell minimum yang dapat dipakai pada kedalaman operasi tertentu, 2,0 in adalah ukuran minimum ketebalan shell pada silinder yang

masih aman dengan SF paling kecil ($SF = 1,02$), penulis telah melakukan beberapa kali iterasi terhadap nilai ketebalan shell pada silinder sehingga ketebalan yang dapat diterima untuk kedalaman operasi 381m adalah 2,5 in hal ini. Pemilihan ketebalan tersebut juga dikaitkan dengan ketebalan dome ellipsoidal pada ujungnya. Ringkasan proses iterasi disajikan pada tabel 4.2,

Tabel 4.2 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Silinder
(variasi ketebalan shell)

No	Ketebalan	Silinder		Faktor		Tekanan Ijin (Psi)		SF	
	Shell (in)	Jarak	th	Unstressed	Stressed	Unstressed	Stressed	Unstressed	Stressed
1	1.4	120	2	0.0005	0.0015	77.78	233.33	0.14	0.41
2	1.6	120	2	0.0006	0.0017	106.67	302.22	0.19	0.53
3	1.8	120	2	0.00065	0.002	130	400	0.23	0.71
4	2	120	2	0.0007	0.0026	155.56	577.78	0.27	1.02
5	2.5	120	2	0.0015	0.0035	416.67	972.22	0.73	1.71

Dan secara Grafis disajikan dalam gambar 4.3 berikut :



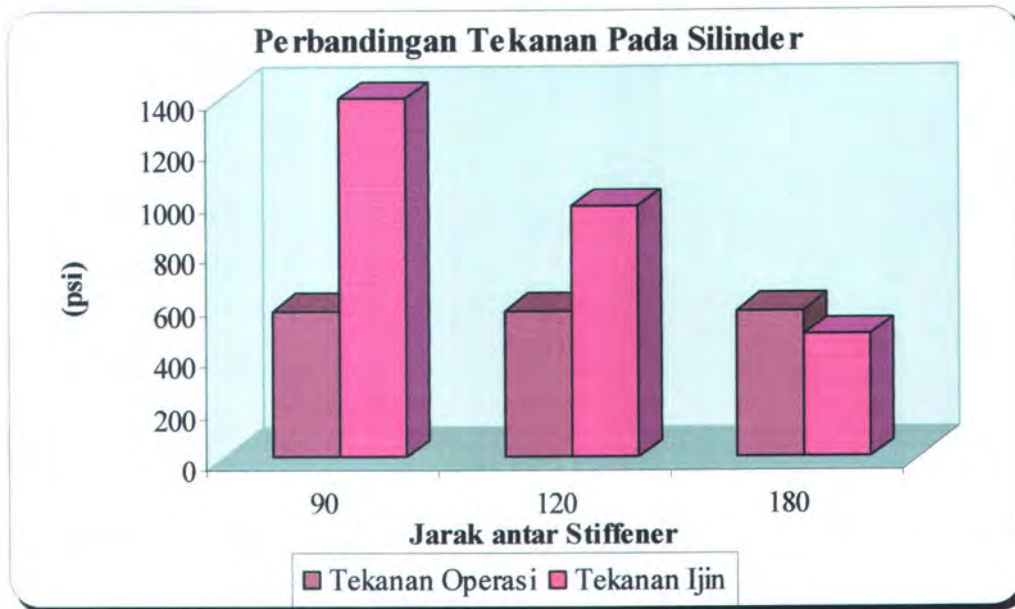
Gambar 4.3 Perbandingan Tekanan pada Silinder (variasi ketebalan)

Dari tabel 4.2. dan gambar 4.3., dapat dinyatakan bahwa shell dengan ketebalan 2,5 in adalah ketebalan optimum. Karena analisa diatas belum memvariasikan jarak antar stiffener, maka untuk ketebalan 2,5 in hasil dari variasi jarak antar *stiffener* dinyatakan dalam tabel 4.3,

Tabel 4.3. Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada Silinder
(variasi jarak stiffener)

No	Ketebalan	Stiffener		Factor A	Tekanan (Psi)		SF Stiffened
	Shell (t)	Jarak	Jlh		Operasi	Ijin	
1	2.5	90	3	0.005	567	1388.89	2.45
2	2.5	120	2	0.0035	567	972.22	1.71
3	2.5	180	1	0.0017	567	472.22	0.71

Dan secara grafis disajikan pada gambar 4.4,



Gambar 4.4 Perbandingan Tekanan pada Silinder (variasi jarak stiffener)

Demikianlah proses iterasi yang dilakukan penulis, sehingga mendapatkan ketebalan 2,5in dengan jarak antar stiffener 120 in sebagai desain paling baik, dengan pertimbangan keamanan dan penggunaan minimal material.

4.2.6. Perhitungan Tegangan

Tegangan yang terjadi pada struktur *Underwater Habitat* dalam penelitian ini adalah disebabkan oleh tekanan operasi (567 Psi). Untuk lebih detail maka perhitungan tegangan dibagi dalam dua bagian, yaitu bagian silinder dan bagian *dome* (walaupun sebenarnya struktur *Underwater Habitat* dengan konfigurasi silinder berujung *dome* adalah satu kesatuan). Perhitungannya adalah sebagai berikut,

4.2.6.1 Perhitungan Tegangan pada Silinder

Tegangan (*Stress*) yang terjadi pada shell silinder karena tekanan operasi adalah

- (i). *Circumferential Stress* σ_1 , Perhitungan menggunakan persamaan

(2.1)

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{PD}{2t} \\ &= \frac{567 \times 180}{2 \times 2,5} = 20.412 \text{ Psi}\end{aligned}$$

- (ii). *Longitudinal Stress* σ_2 , Perhitungan menggunakan persamaan (2.2)

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{PD}{4t} \\ &= \frac{567 \times 180}{4 \times 2,5} = 10.206 \text{ Psi}\end{aligned}$$

- (iii). *Von Mises Stress* σ_v pada Silinder, Perhitungan menggunakan persamaan (2.56)

$$\begin{aligned}\text{(iv). } \sigma_v &= \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \\ \sigma_v &= \sqrt{\frac{(20.412 - 10.206)^2 + (10.206 - 0)^2 + (0 - 20.412)^2}{2}} \\ \sigma_v &= 17.677,3 \text{ Psi}\end{aligned}$$

➤ ***Safety Factor (SF) untuk tegangan pada silinder***

Berdasarkan persamaan (2.55) menyatakan bahwa kegagalan statis terjadi bila SF sama) lebih kecil atau sama dengan satu maka struktur dinyatakan gagal (*failure*),

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_v}$$

$$= \frac{80000}{17.677,3} = 4,53$$

Maka dapat dinyatakan bahwa struktur aman atau tidak mengalami kegagalan statis.

4.2.6.2 Perhitungan Tegangan pada *Dome*

Sebelum melakukan perhitungan tegangan pada dome, terlebih dahulu dilakukan perhitungan gaya melingkar dan gaya meridional, sebagai berikut :

- (i). Gaya dan Tegangan Melingkar pada *Dome*

Gaya melingkar N_θ , Perhitungan menggunakan persamaan (2.16)

$$N_\theta = -RP \left(\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi} \right) \quad \text{dimana, } R = 0,9 D_o = 162 \text{ in}$$

Untuk menghasilkan gaya melingkar maksimum, maka ϕ diambil dengan nilai 90° . Dimana, P merupakan beban pada permukaan dome berupa tekanan eksternal (567 Psi).

$$N_\theta = -162 \times 567 \left(\cos 90 - \frac{1}{1 + \cos 90} \right)$$

$$N_\theta = 91854 \text{ lb/in}$$

Maka,

Tegangan Melingkar σ_θ , Perhitungan menggunakan persamaan

(2.17)

$$\sigma_\theta = \frac{91854}{2,5} = 36.741,6 \text{ Psi.}$$

- (ii). Gaya dan Tegangan Meridional pada *Dome*

Gaya Meridional N_ϕ , Perhitungan menggunakan persamaan (2.22)

$$N_\phi = -\frac{RP}{1 + \cos \phi} \quad \text{dimana, } R = 0,9 \text{ } D_0 = 162 \text{ in}$$

Untuk menghasilkan gaya meridional maksimum, maka ϕ diambil dengan nilai 90° . Dimana, P merupakan beban pada permukaan dome berupa tekanan eksternal (567 Psi).

$$N_\phi = -\frac{162 \times 567}{1 + \cos 90}$$

$$N_\phi = -91854 \text{ lb/in.}$$

Tegangan Meridional σ_ϕ , Perhitungan menggunakan persamaan

(2.20)

$$\sigma_\phi = \frac{N_\phi}{t}$$

$$\sigma_\phi = \frac{-91854}{2,5} = -36.741,6 \text{ Psi.}$$

(iii). **Von Mises Stress σ_v** pada Dome, Perhitungan menggunakan persamaan (2.56).

Untuk bentuk dome, maka tegangan utamanya (*principle stress*) adalah tegangan meridional σ_ϕ sebagai σ_1 dan tegangan melingkar σ_θ sebagai σ_2 , sedangkan $\sigma_3 = 0$. secara matematis perhitungan tegangan von mises adalah sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(36.741,6 - (-36.741,6))^2 + ((-36.741,6) - 0)^2 + (0 - 36.741,6)^2}{2}}$$

$$\sigma_v = 44.999,09 \text{ Psi}$$

➤ **Safety Factor (SF) untuk tegangan pada Dome**

Berdasarkan persamaan (2.55) menyatakan bahwa kegagalan statis terjadi bila SF sama) lebih kecil atau sama dengan satu maka struktur dinyatakan gagal (*failure*),

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \\ &= \frac{80000}{44999,09} = 1,78 \end{aligned}$$

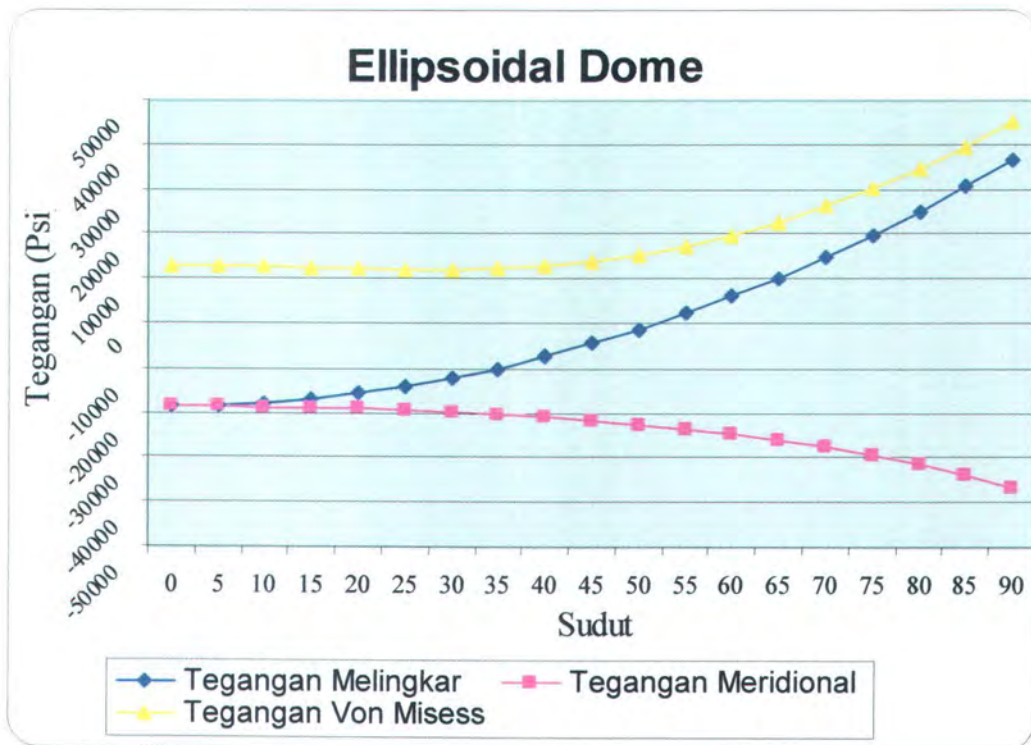
Maka dapat dinyatakan bahwa struktur aman atau tidak mengalami kegagalan statis.

Grafik berikut akan menunjukaan distribusi tekanan pada bagian dome dimana tegangan terbesar terjadi pada sudut 90^0 , sebagaimana yang dijadikan acuan pada perhitungan diatas :

Tabel 4.4 Tegangan Von Mises

No	Sudut	Tegangan		Tegangan
		Melingkar	Meridional	Von Mises
1	0	-18370.8	-18370.8	12990.12
2	5	-18196	-18405.8	12941.32
3	10	-17672	-18511.4	12803.09
4	15	-16800.5	-18689.2	12600.69
5	20	-15583.8	-18942	12378.73
6	25	-14025.5	-19273.7	12203.83
7	30	-12129.4	-19689.8	12165.20
8	35	-9899.85	-20197.1	12368.95
9	40	-7341.24	-20804.5	12922.63
10	45	-4457.5	-21522.7	13913.30
11	50	-1251.65	-22365.4	15391.30
12	55	2274.988	-23349.1	17370.60
13	60	6123.6	-24494.4	19842.73
14	65	10299.07	-25826.7	22793.46
15	70	14811.46	-27377.8	26214.79
16	75	19677.93	-29187.4	30112.04
17	80	24925.35	-31305.5	34508.01
18	85	30593.84	-33796.1	39446.86
19	90	36741.6	-36741.6	44999.09

Dan secara grafik disajikan dengan gambar 4.5,

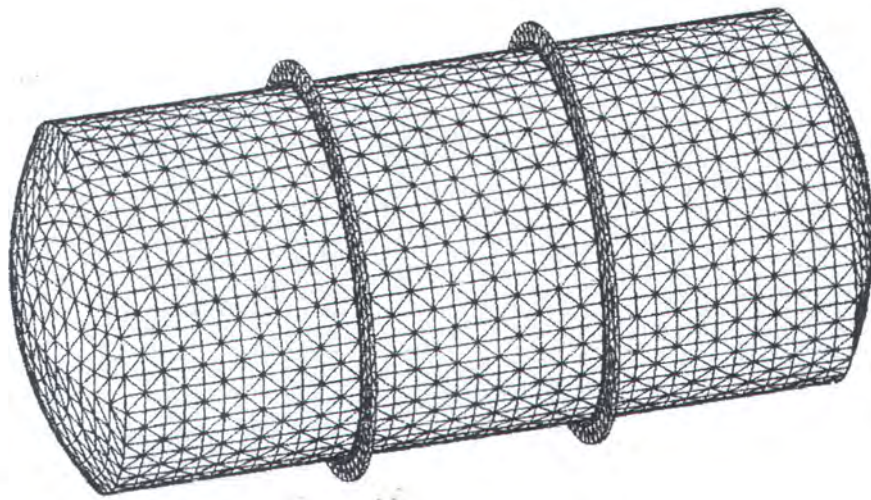


Gambar 4.5 Tegangan pada Dome

4.3 PEMODELAN KOMPUTER

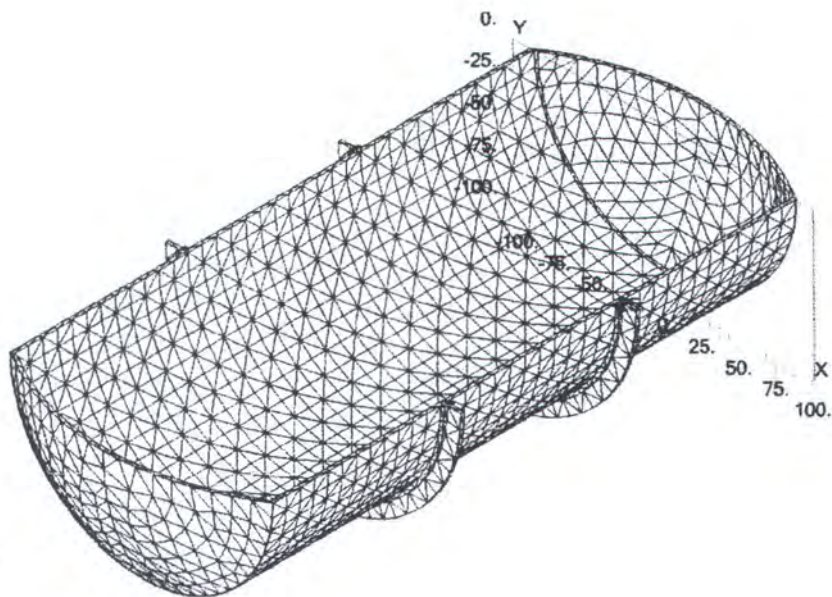
Adapun pemodelan Underwater Habitat dengan menggunakan bantuan *software* Nastran 4.5, perinciannya seperti hasil desain diatas, dan wujud dari fisik dari model tersebut adalah sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.6 dan 4.7,

V1



Gambar 4.6 Model Struktur yang Dianalisa

V1



Gambar 4.7 Potongan Membujur Struktur

Dengan perincian pemodelan sebagai berikut :

➤ Material

Material yang dipakai adalah HY80 High Tension Steel,
dengan property sebagai berikut :

Mass Density, ρ = 0,283 Psi

Young's Modulus, E = 3×10^7 Psi

Poisson's Ratio, ν = 0,282

Ultimate Stress, σ_{ult} = 105.000 Psi

Yield Stress, σ_y = 80.000 Psi

➤ Mesh

Bentuk mesh yang dipakai dalam analisa adalah *Tetragonal* dengan ukuran sebagai berikut :

a. Silinder : 10

b. Stiffener : 10

b. Dome : 10

➤ Shell

Ketebalan shell t adalah 2,5 in.

➤ Stiffener

Jenis Stiffener : *External Stiffener*

Bentuk : T

Jarak antar stiffener : 120 in.

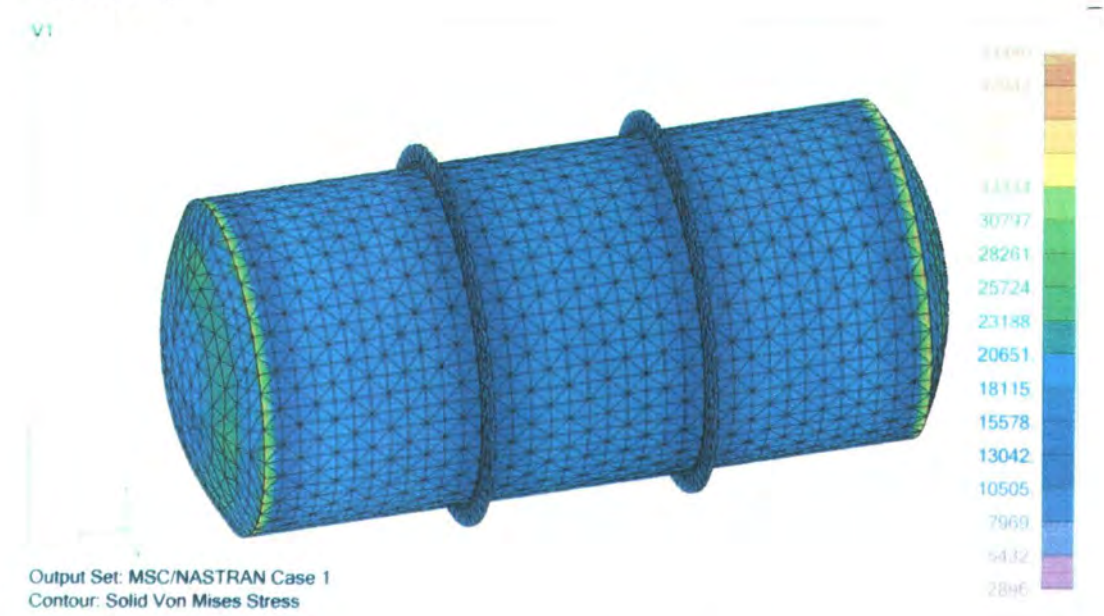
➤ Pembebanan

Pembebanan yang dialami oleh struktur adalah tekanan eksternal akibat gaya hidrostatik sebesar 567 Psi pada seluruh permukaan.

4.4 HASIL PEMODELAN

Hasil pemodelan Struktur dengan software Nastran 4.5 adalah sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.8,

A. Stress

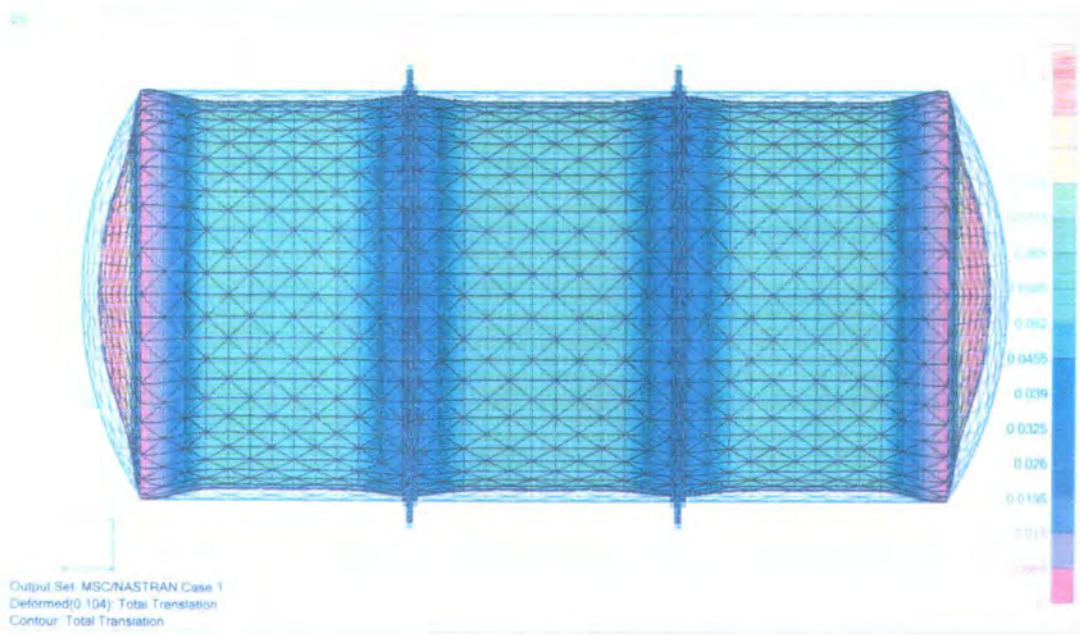


Gambar 4.8 Contour Stress Struktur

Rincian Stress adalah sebagai berikut :

Von Mises Maximum Stress **= 43480 Psi**
Element **= 20298**

B. Deformasi



Gambar 4.9 Countur dan Deformasi Struktur

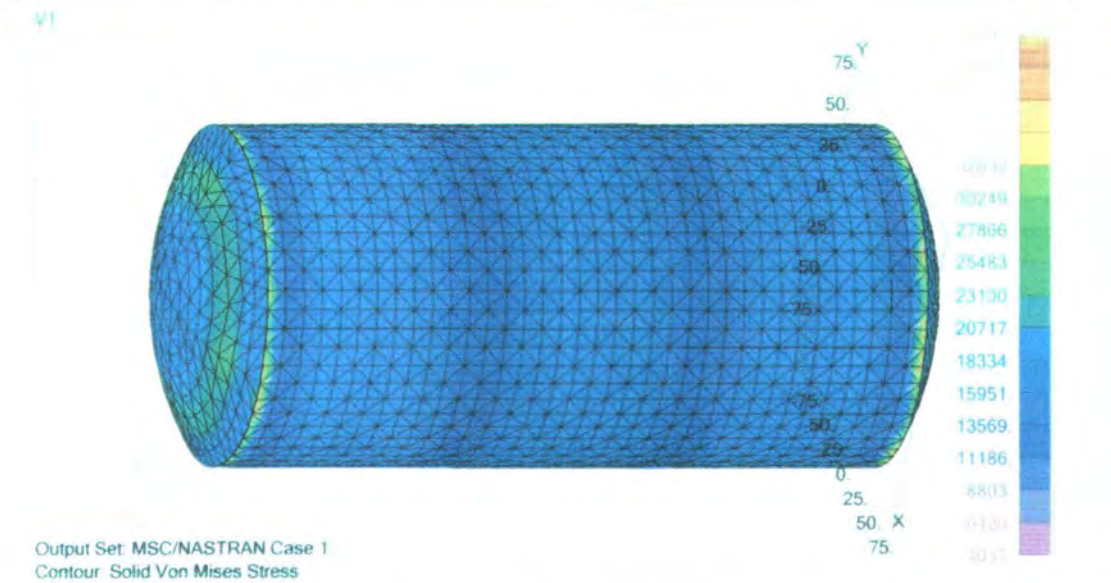
Rincian Deformasi adalah sebagai berikut :

Deformasi Maximum = 0,104 in

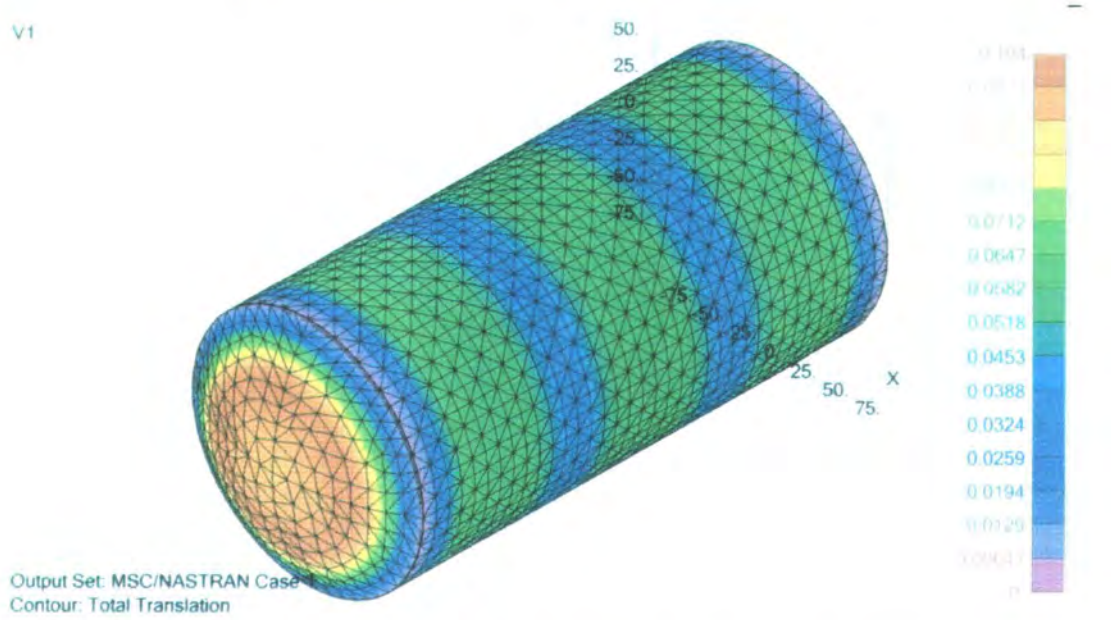
Node = 29028

C. Struktur Pemanding

Dalam Tugas Akhir ini kami memodelkan satu struktur dengan parameter dan bentuk yang identik dengan Struktur Underwater Habitat yang ditinjau. Namun struktur pemanding ini memiliki Stiffner dengan tipe *Internal Stiffner* yaitu penegar didalam strukturnya dengan dimensi yang sama dengan *eksternal stiffner* yang terdapat pada struktur yang ditinjau.



Gambar 4.10 Countur Stress Struktur Pemanding



Gambar 4.11 Countur Deformasi Struktur Pemanding

Dengan rincian sebagai berikut :

Von Mises Maximum Stress	= 42163 Psi
Element	= 29655
Deformasi Maximum	= 0,104 in
Node	= 29290

4.5 PEMBAHASAN

4.5.1 Tekanan (Pressure)

Kedalam operasi *Underwater Habitat* adalah 1250 ft (381 m) menyebabkan tekanan (P) sebesar 567 Psi (39,1 bar), dengan pemilihan material berupa HY80 High Tension Steel, dan ukuran utama sebagai berikut :

$$L = 360 \text{ in}$$

$$D = 180 \text{ in}$$

$$t = 2,5 \text{ in}$$

Ternyata bagian silinder hanya mampu menahan tekanan eksternal sebesar 416,67 Psi jauh dibawah tekanan operasi, sehingga perlu ditambahkan *stiffener* pada bagian silinder agar dapat menahan tekanan operasi, dari perhitungan *stiffener* diperoleh spesifikasi internal *stiffener* bentuk T yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Jarak antar stiffener } L_f = 120 \text{ in}$$

$$\text{Lebar Flange} = 6.5 \text{ in}$$

$$\text{Kedalaman Web} = 9 \text{ in}$$

Dengan pemakaian *stiffener* dengan bentuk tersebut dan dengan jarak antar stiffener sebesar 120 in maka diperoleh tekanan ijin (Pa) sebesar 972,22 Psi, artinya struktur mampu menahan tekanan operasi (P). dan diperoleh *Safety Factor* (SF) sebesar 1,71 yang merupakan perbandingan antara tekanan ijin (Pa) dibanding dengan tekanan operasi (P).

Sedangkan pada bagian dome, dengan ketebalan shell 2,5 in (sama dengan ketebalan shell silinder) mempunyai tekanan ijin (Pa) sebesar 657,41 Psi dengan safety faktor 1,16.

Secara keseluruhan dengan perhitungan manual, struktur Underwater Habitat dengan ketebalan shell 2,5 in mampu menahan tekanan eksternal sebesar 567 psi, dengan safety factor 1,16 dan bagian yang paling kritis adalah pada dome.

Sebelum sampai kepada nilai-nilai dan beberapa kesimpulan diatas penulis telah melakukan beberapa kali iterasi, ketebalan shell yang dianalisa selain ketebalan 2,5 in adalah ketebalan 1,4 in, 1,6 in, 1,8 in dan 2,0 in. dan acuan yang dipakai dalam memilih ketebalan 2,5 sebagai ketebalan minimum adalah parameter *safety factor*. Sehingga diperoleh ketebalan dengan *safety faktor* yang minimum 1,16. yaitu pada ketebalan shell 2,5 in.

Selain iterasi ketebalan shell, penulis juga melakukan iterasi terhadap jarak antar *stiffener*, *stiffener* sebagai alat penegar shell digunakan untuk meningkatkan tekanan ijin shell, beberapa jarak antar *stiffener* yang telah dianalisa oleh penulis adalah 90, 120 in, dan 180 in, ternyata jarak maksimal yang dapat dipakai (sebagai penegar shell yang berukuran 2,5 in) adalah 120 in.

Dari Codes yang dipakai sebagai verifikasi yaitu ASME Section VIII Division I, didapat “ The design pressure for the hydrostatic loads, shall be determined by:

$DP = 1,5 \text{ OP}$; where : DP = Design Pressure

OP = Operational Pressure”

Dari pernyataan diatas dapat diketahui bahwa menurut standard bahwa *safety factor* yang dipakai harusnya sebesar minimum 1,5. namun dalam penelitian ini bertujuan untuk mencari ketebalan shell yang minimum dan jarak antar *stiffener* maksimum

sehingga struktur tersebut tetap aman digunakan meski *safety factornya* tidak sebesar pada codes yang berlaku.

Tujuan menganalisa ketebalan shell minimum dan jarak antar *stiffener* maksimum adalah untuk mengupayakan penggunaan material yang sedikit dan pada akhirnya mengurangi biaya produksi.

4.5.2 Tegangan dan Deformasi

Hasil analisa pemodelan komputer dengan bantuan *software* Nastran 4.5 adalah sebagai berikut : *Von Mises Stress Maximum* sebesar 43480 Psi terjadi pada elemen 20298 (elemen 20298 terletak pada bagian *dome*). Dan pada sub bab 4.2.6 telah disebutkan bahwa tegangan yang terjadi (*Von Mises Stress*) pada bagian dome adalah sebesar 44.999,09 Psi. Terdapat selisih antara analisa numerik dan analisa matematis senilai 1.519,09 Psi (error sebesar 3,37%), hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain :

- Ukuran Meshing yang digunakan dalam analisa numerik (pemodelan dengan Nastran 4.5) kurang tepat, ukuran meshing mempengaruhi *output* dari pemodelan, termasuk nilai tegangan (*Von Mises Stress*) yang di hasilkan.
- Bentuk model struktur yang dianalisa Nastran 4.5 tidak sama persis dengan struktur sesungguhnya.
- Keterbatasan teori yang dipakai penulis.

Dari perhitungan keamanan, diperoleh *Safety Factor* SF (*safety factor* disini merupakan perbandingan antara tegangan *yield* dengan tegangan *Von Mises*) untuk tegangan pada struktur adalah sebagai berikut,

➤ Safety Factor Teori

$$SF = 1,78$$

➤ Safety Factor Hasil Pemodelan

$$SF = 1,84$$

Struktur mengalami deformasi maksimum sebesar 0,104 in terjadi pada node 29028 yang terletak pada ujung dome. Hal ini (deformasi maksimum pada ujung dome) dapat disebabkan oleh pengaruh tegangan melingkar (hoop stress) yang dialami oleh dome, karena tegangan melingkar adalah tarik pada bagian bawah dome dan tekan pada bagian atas (lihat sub bab 2.2.1.3 dan gambar 2.7), sehingga pada saat tertentu ketika tegangan melingkar bekerja pada bagian atas dome node 29028 yang terletak persis di ujung dome terdesak kearah luar dari dome.

4.5.3 Perbandingan Jenis Stiffener

Dari Struktur Pembanding dapat kita lihat beda kekuatan dan fungsi serta kelebihan maupun kekurangan dari *eksternal stiffener* dibandingkan dengan *internal stiffener*, yaitu :

Tabel 4.5 Perbandingan Jenis Stiffener

Jenis Stiffener	Kelebihan	Kekurangan
EKSTERNAL STIFFENER	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak mengganggu dan mengurangi bagian dalam underwater habitat • Dapat dijadikan dudukan bila akan diberi sadle 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebih cocok untuk menahan internal pressure daripada eksternal pressure • Perlu membuat pembatas bila struktur akan dibagi menjadi beberapa kompartemen
INTERNAL STIFFENER	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat dijadikan pembatas bila struktur akan dibagi menjadi beberapa kompartemen • Lebih mampu menahan eksternal pressure meski perbedaannya tidak terlalu signifikan 	<ul style="list-style-type: none"> • Harus membuat dudukan baru bila akan diberi sadle • Mengurangi internal volume struktur

Dari tabel 4.5, dapat kita lihat perbedaan karakteristik dari kedua jenis stiffener. Hal ini dapat dijadikan pertimbangan dalam memilih jenis stiffener mana yang akan dipakai sesuai dengan kondisi pembebanan serta fungsi struktur yang direncanakan. Perbandingan ini hanya sekedar untuk perluasan khazanah pengetahuan saja, karena dalam pembahasan ini, struktur yang ditinjau adalah struktur dengan *eksternal stiffener*.

Dari pembahasan-pembahasan diatas, baik pembahasan tekanan maupun pembahasan tegangan dapat diketahui bahwa perancangan Undewater Habitat dengan

bentuk silinder berujung dome yang dioperasikan pada kedalaman 1250 ft (381 m) dibawah permukaan air, dengan tujuan untuk memperoleh ketebalan shell minimum dan jarak antar stiffener agar diperoleh kekuatan maksimal dapat diterima.



BAB V

KESIMPULAN

& SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat dijadikan suatu kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Underwater Habitat yang dioperasikan pada kedalaman 381 m (dengan tekanan hidrostatik 567 psi), memiliki ketebalan shell minimum sebesar 2,5 in dengan penegar berjenis eksternal ring stiffener.
2. Jarak antar stiffener optimum pada underwater habitat tersebut adalah 120 in dengan jenis T, dimana pada struktur tersebut akan terdapat 2 buah stiffener pada silinder. Yang mana stiffener-stiffener tersebut membagi silinder menjadi 3 bagian yang sama.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka untuk penelitian lebih lanjut yang disarankan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa konfigurasi *underwater habitat* yang lebih lengkap, seperti memakai saddle sebagai dudukan.
2. Menganalisa kekuatan shell terhadap *shock loading* atau *impact loading*.
3. Penelitian hubungan antara lambung dan sayap kapal selam.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Arentzen, E. S. dan Phillip Mandel. 1960. **Naval Architectural Aspects of Submarine Design**. Massachusetts Institut of Technology. Cambridge, USA.
- Chuse, Robert dan Stephen M. Eber. 1984. **The ASME Code Simplified**. Section VIII Pressure Vessel and Boiler.
- Engineer Edge. 2004. **Strength of Materials**.
<[URL:http://www.engineersedge.com/mechanics_material.shtml](http://www.engineersedge.com/mechanics_material.shtml)>
- Engineering Fundamental. 2004. **Yield of Ductile Materials**.
<http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/failure_criteria/failure_criteria_ductile.cfm>
- Liang, Cho-Chung dan Ching-Yu Hsu. 1997. Minimum Weight Design of Submersible Pressure Hull Under Hydrostatic Pressure. **Computers and Structures**, Vol. 63. No. 2. pp. 187-201.
- Grieve, David J. 2004. **DSGN – Failure Theories**.
<http://www.tech.plymouth.ac.uk/sme/desnotes/.failure_theories.shtml>
- McGrattan R. J. dan G. A. Peteros. 1990, **Structure Principles**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA.
- Megyesy, Eugene F. 1987. **Pressure Vessel Handbook**. Publishing Inc., Tulsa.
- Popov, E.P. 1989. **Mekanika Teknik**. Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Ross, C. T. F. 1996. **Mechanics of Solids**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA.
- Schodek, Daniel L. 1999. **Struktur**. Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Timoshenko, S. P. dan Gere J. 1999. **Mekanika Bahan**. Erlangga, Jakarta.

Ugural, Ansel C. 1999. **Stresses in Plates and Shell**. McGraw-Hill, Boston, USA.

Ugural, Ansel, C dan Saul K. Fenster. 1995. **Advanced Strength and Applied Elasticity**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, USA.

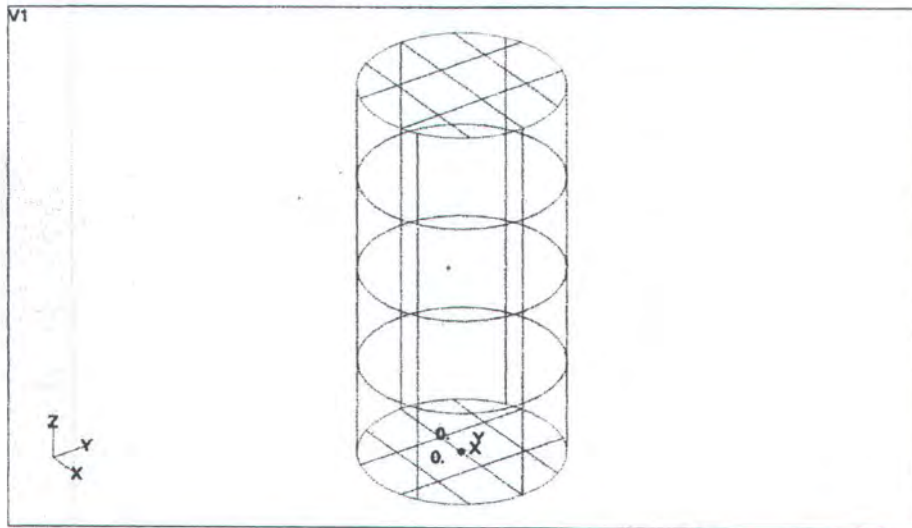


LAMPIRAN A

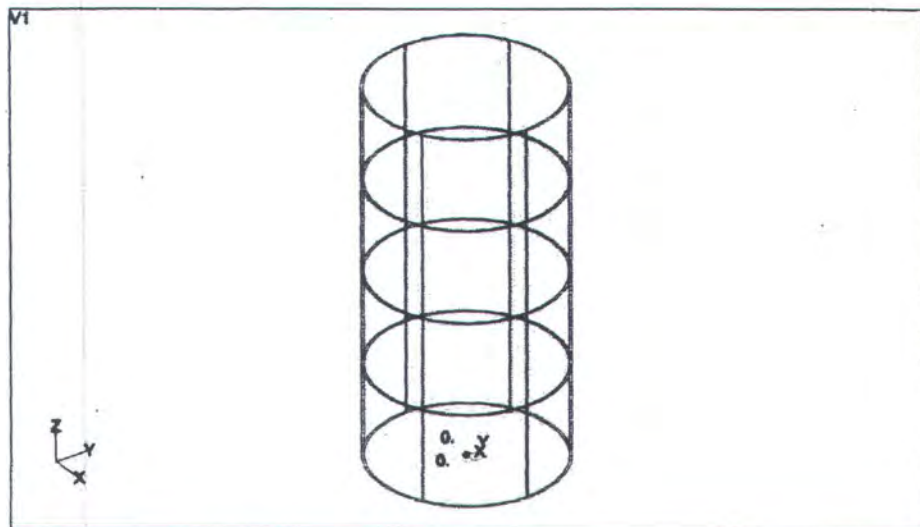
LAMPIRAN A

Proses Pembuatan Geometry Underwater Habitat menggunakan Software MSC

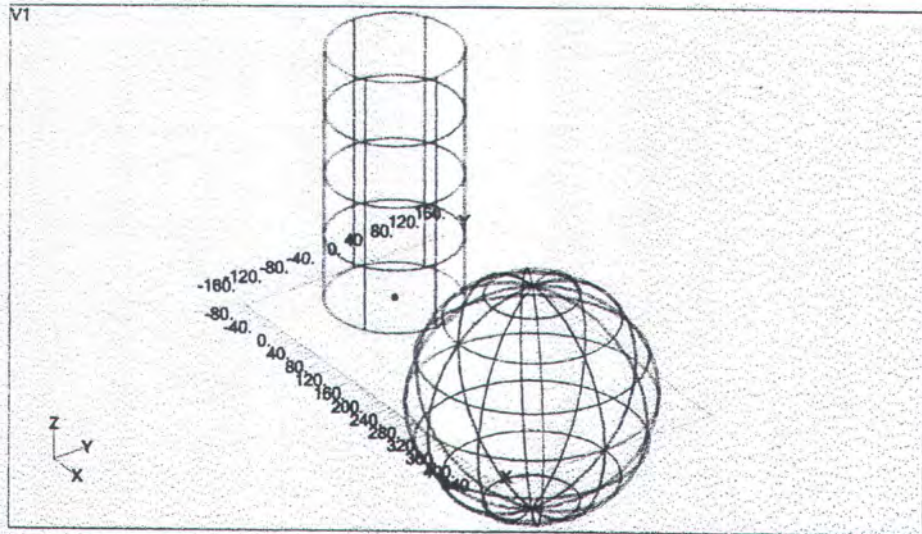
Nastran 4.5



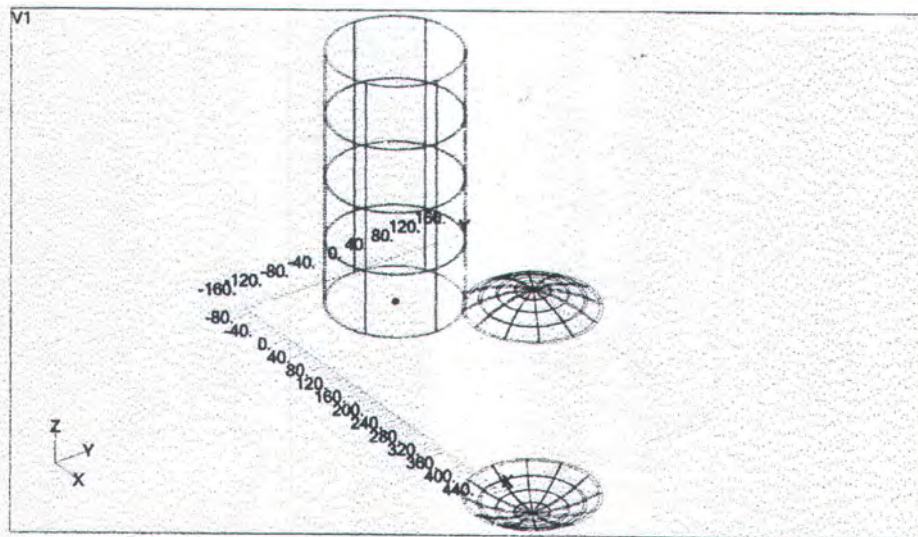
1. Membuat silinder dengan ukuran utama yaitu $D = 180\text{in}$ dan $L = 360\text{in}$, dengan sudut pandang Dymetric.



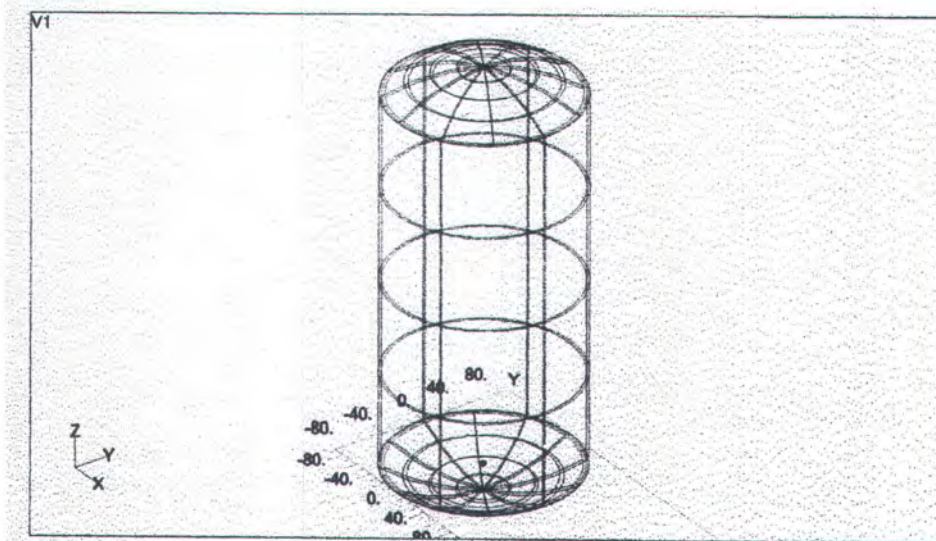
2. Menbuat Silinder tersebut berrongga dengan cara menghilangkan bagian tengah silinder, sehingga silinder tersebut memiliki ketebalan ~~2,5in~~ 2,5in



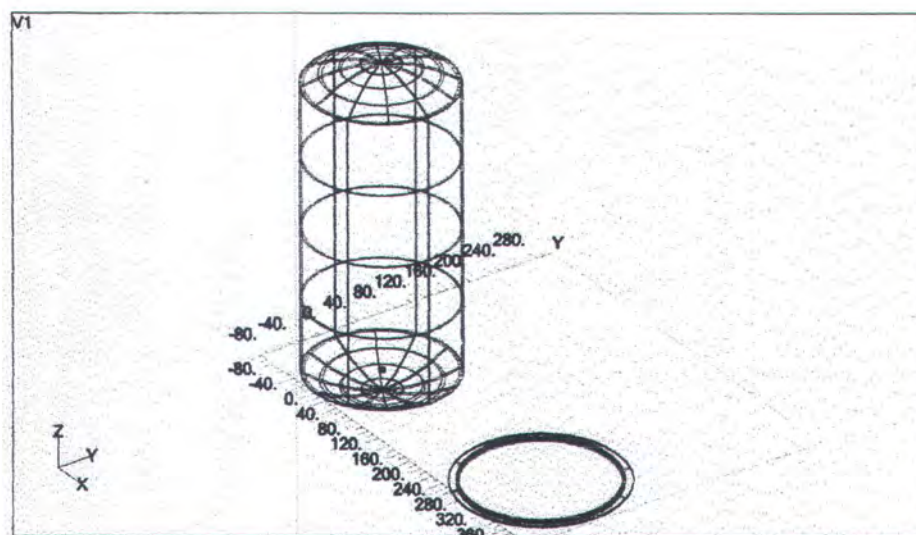
3. Membuat spherical solid ($D = 0,9 R_o$) untuk bagian dome, yang mana sebelumnya dihilangkan bagian tengahnya sehingga memiliki ketebalan yang sama dengan silinder.



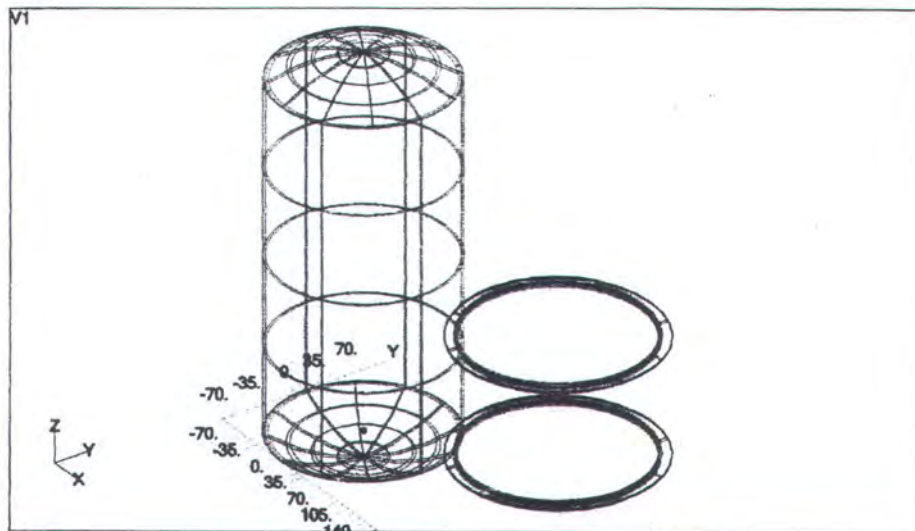
4. Memotong Spherical tersebut sehingga sesuai dengan ukuran silinder, karena akan ditempatkan pada bagian ujung dari *underwater habitat*.



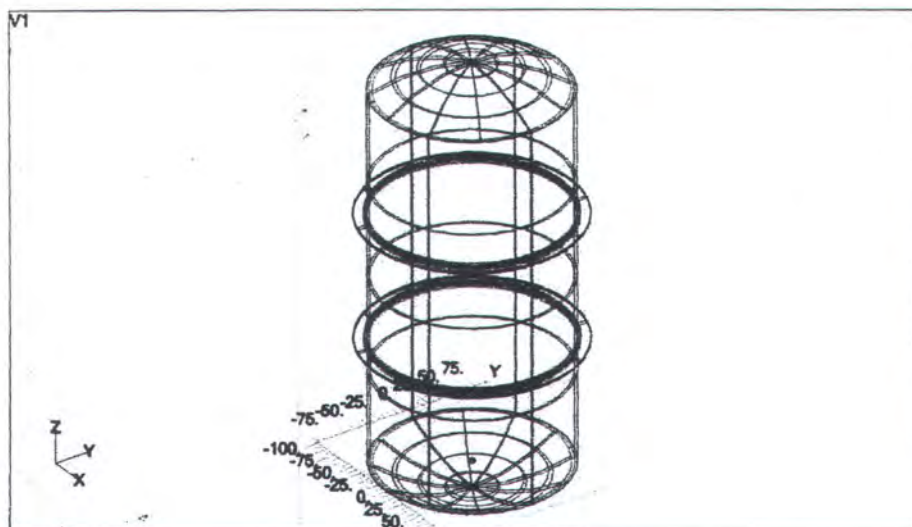
5. Meletakkan potongan Spherical Solid tersebut di ujung silinder sehingga bentuk dasar dari *underwater habitat* dengan konfigurasi silinder berujung dome ellipsoidal sudah terbentuk.



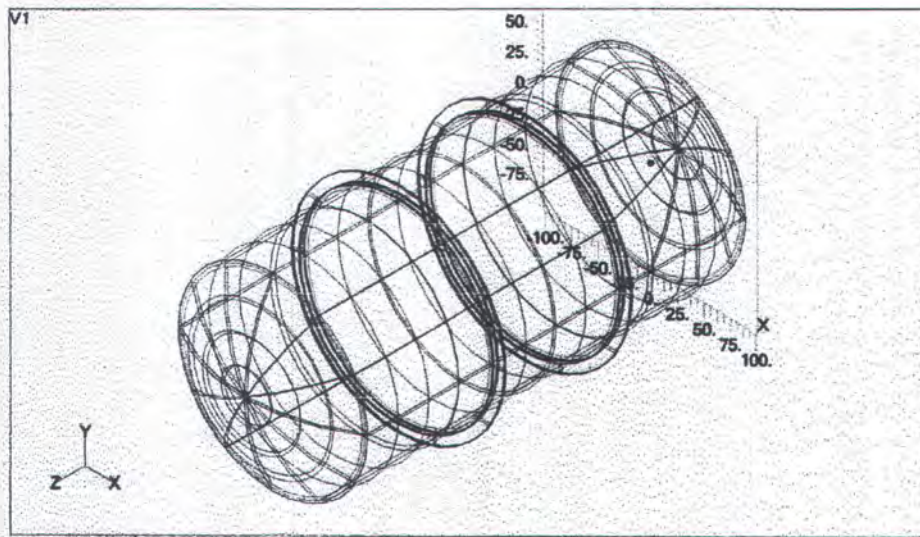
6. Membuat eksternal stiffener dengan jenis T, yang diletakkan diluar struktur terlebih dahulu. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pengaturan stiffener pada proses berikutnya.



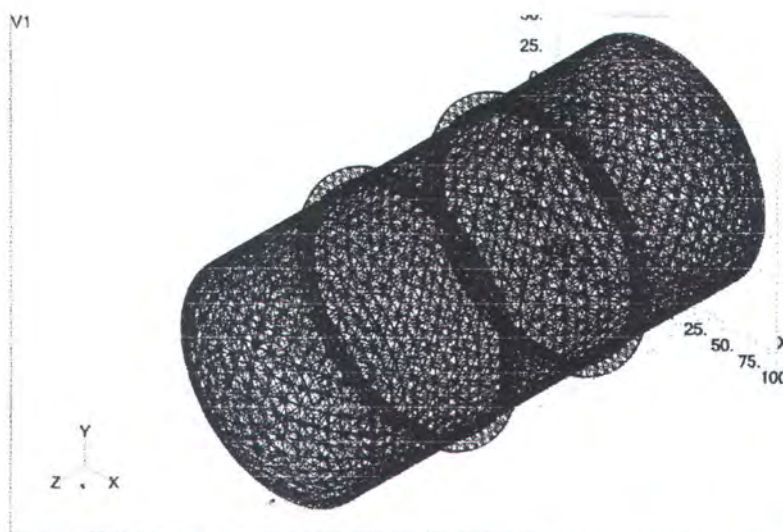
7. Menggandakan bentuk stiffener yang dibuat pada proses sebelumnya, sebelum ditempatkan pada struktur utama.



8. Menempatkan Stiffener pada struktur utama, dengan jarak antar stiffener 120 in. Pada tahap ini Struktur *Underwater habitat* telah tampak secara utuh, namun sebenarnya bagian-bagiannya masih berdiri sendiri-sendiri, seperti : dome ellipsoidal, silinder dan stiffenernya.



9. Menggabungkan bagian-bagian tersebut menjadi satu kesatuan material yang utuh, sehingga dapat di-meshing. Dan merubah sudut pandang menjadi Isometric agar pada proses meshing strukturnya dapat terlihat lebih lengkap.



10. Meshing dilakukan pada tahap ini, dengan bentuk Tetragonal dan dengan ukuran element meshing 10. selanjutnya diberikan beban hidrostatis yang bekerja pada permukaannya dan dilakukan analisa dengan menggunakan software berbasis *finite element*, MSC NASTRAN 4.5.





LAMPIRAN B

LAMPIRAN B

List Output Analisa MSC Nastran 4.5 (Von Mises Stress)

MSC.Nastran for Windows Version 7.00

Mon Jul 10 19:32:14 2006

Model : C:\Mscn4w45\data\coba3.MOD

Report : Node

Format : NASTRAN Displacement

Sort By : 60031..Solid Von Mises Stress in Ascending Order

Title : Von Mises Stress

Output Set 1 - MSC/NASTRAN Case 1

DISPLACEMENT VECTOR							
POINT ID.		T1	T2	T3	R1	R2	R3
19873	G	-0.0026347	0.0023217	-0.0025994	0.	0.	0.
20111	G	-0.001305	-0.0041445	-0.0037522	0.	0.	0.
29231	G	-0.0016013	-0.001102	-0.011911	0.	0.	0.
30263	G	0.00096466	-0.000060598	0.0072221	0.	0.	0.
21463	G	-0.0035906	-0.0021084	-0.0019585	0.	0.	0.
20104	G	-0.00022054	-0.00074342	-0.004166	0.	0.	0.
23154	G	0.00011882	-0.0023597	0.0021055	0.	0.	0.
30202	G	-0.0030353	0.003171	-0.0031736	0.	0.	0.
30297	G	-0.0015557	-0.0025678	0.01737	0.	0.	0.
30229	G	-0.002117	-0.00024589	0.011979	0.	0.	0.
27022	G	0.0036494	0.00071528	-0.0035654	0.	0.	0.
21461	G	-0.0030826	-0.0022656	-0.0018142	0.	0.	0.
29703	G	-0.0026219	-0.00117	0.017565	0.	0.	0.
14580	G	0.0028991	0.0024249	0.0028102	0.	0.	0.
20150	G	0.00061344	-0.00031217	-0.0040102	0.	0.	0.
14051	G	0.0010727	-0.000077843	-0.0064928	0.	0.	0.
28495	G	0.00033254	-0.00010195	0.0012999	0.	0.	0.
14544	G	-0.00026479	0.0024061	0.0013712	0.	0.	0.
26291	G	-0.00010441	0.00012796	-0.00059881	0.	0.	0.
30274	G	-0.000033182	0.0022354	0.010259	0.	0.	0.
20369	G	-0.0017166	-0.0012701	0.012271	0.	0.	0.
29701	G	-0.0018919	-0.0011712	0.012434	0.	0.	0.
20331	G	0.0018819	-0.0032779	0.0019389	0.	0.	0.
25911	G	0.00016398	-0.000068688	-0.0005735	0.	0.	0.

20061	G	-0.0034894	-0.00075331	-0.0017344	0.	0.	0.
21884	G	-0.0028395	-0.0027771	-0.0020152	0.	0.	0.
20076	G	-0.00039828	-0.00069969	-0.0039821	0.	0.	0.
20103	G	-0.0012595	-0.0034587	-0.0019086	0.	0.	0.
29378	G	0.0013266	0.0015563	-0.01187	0.	0.	0.
20329	G	0.00038666	-0.0006384	0.007133	0.	0.	0.
26661	G	-0.0020386	-0.000012859	-0.0034729	0.	0.	0.
20327	G	0.00076803	-0.00066015	0.0073352	0.	0.	0.
30185	G	-0.00019331	-0.0029396	-0.0027528	0.	0.	0.
20070	G	-0.0043662	-0.0013389	-0.0030647	0.	0.	0.
26276	G	-0.000055147	0.00080517	-0.0035126	0.	0.	0.
30251	G	0.00019531	-0.00079504	0.0071767	0.	0.	0.
25912	G	0.0037467	-0.0020265	-0.0038176	0.	0.	0.
30213	G	0.0016961	-0.0025417	-0.017393	0.	0.	0.
30187	G	-0.00011354	-0.002232	-0.01097	0.	0.	0.
20113	G	0.00022453	-0.0023702	-0.0012685	0.	0.	0.
29878	G	-0.0013878	0.0013492	0.012023	0.	0.	0.
14078	G	0.0041628	0.0011963	-0.0030344	0.	0.	0.
20373	G	-0.00077273	-0.00029639	0.0042049	0.	0.	0.
19963	G	0.0036194	0.00172	-0.0026945	0.	0.	0.
20112	G	0.00012321	-0.0020083	-0.000904	0.	0.	0.
28522	G	0.000073086	-0.00077567	0.0039155	0.	0.	0.
20084	G	-0.0027414	-0.0031115	-0.0036135	0.	0.	0.
30214	G	0.0018649	-0.0023005	-0.017294	0.	0.	0.
20097	G	-0.00022285	-0.00070898	-0.004083	0.	0.	0.
28164	G	-0.0008547	0.00010333	0.0036641	0.	0.	0.
23368	G	0.00045089	-0.0026202	0.0012432	0.	0.	0.
27014	G	0.00017975	0.000011227	-0.00062076	0.	0.	0.
23369	G	0.0005786	-0.0027813	0.0015033	0.	0.	0.
30244	G	-0.000015354	-0.00095946	0.0060157	0.	0.	0.
14115	G	0.0016365	0.0014618	-0.012163	0.	0.	0.
29388	G	0.0028016	0.00076828	-0.017209	0.	0.	0.
28178	G	-0.00017734	0.00031296	0.001321	0.	0.	0.
14081	G	0.0037438	0.0011721	-0.001934	0.	0.	0.
19900	G	-0.00096753	0.0036016	-0.0027171	0.	0.	0.
14086	G	0.0019113	0.00066302	-0.011934	0.	0.	0.
19885	G	-0.0023319	0.0031754	-0.0025862	0.	0.	0.
24421	G	0.0022332	-0.0025753	-0.0016071	0.	0.	0.
30275	G	-0.00039427	0.0039308	0.0035697	0.	0.	0.

29230	G	-0.0015746	-0.0011815	-0.012253	0.	0.	0.
20304	G	0.0029683	0.00020354	0.0014206	0.	0.	0.
14260	G	-0.0021738	-0.00003235	-0.0026647	0.	0.	0.
30049	G	0.0025724	-0.0010768	0.017167	0.	0.	0.
29374	G	0.0012503	0.0026472	-0.017114	0.	0.	0.
20305	G	0.00087996	-0.00047101	0.0073188	0.	0.	0.
30285	G	-0.0011169	0.0025859	0.017388	0.	0.	0.
14494	G	-0.0040595	0.0014456	0.0021788	0.	0.	0.
21036	G	-0.0032417	-0.0017152	0.0026882	0.	0.	0.
30266	G	0.0021113	-0.00014558	0.010955	0.	0.	0.
30234	G	-0.0017566	-0.0011891	0.01199	0.	0.	0.
28877	G	0.0002157	-0.0019925	-0.011053	0.	0.	0.
20072	G	-0.00056765	-0.000955	-0.0071883	0.	0.	0.
20101	G	-0.00059361	-0.0017881	-0.011799	0.	0.	0.
27778	G	-0.00036762	-0.00011335	0.0013524	0.	0.	0.
20090	G	-0.0010197	-0.0017749	-0.011644	0.	0.	0.
29552	G	0.00039487	0.0020196	0.011663	0.	0.	0.
19990	G	-0.0011452	-0.00012391	0.0064371	0.	0.	0.
29068	G	-0.0015642	0.0015742	-0.012288	0.	0.	0.
14071	G	0.003505	0.0009826	-0.0018485	0.	0.	0.
20342	G	0.00094335	-0.0018174	0.011906	0.	0.	0.
29055	G	-0.0027213	0.0012548	-0.017435	0.	0.	0.
14152	G	0.000055534	0.0007547	-0.003374	0.	0.	0.
26659	G	-0.000155	-0.0000026531	-0.00053872	0.	0.	0.
25901	G	0.000318	-0.00017034	-0.0013266	0.	0.	0.
22940	G	-0.00030936	-0.0030673	0.0026874	0.	0.	0.
30032	G	0.0017085	-0.0025536	0.017178	0.	0.	0.
19935	G	0.0014332	0.0032863	-0.0019686	0.	0.	0.
20063	G	-0.003967	-0.001316	-0.0019321	0.	0.	0.
26285	G	-0.00073487	0.0034086	-0.0035351	0.	0.	0.
14201	G	-0.0025575	0.0023078	-0.0018873	0.	0.	0.
27771	G	-0.0033514	-0.0023672	0.0027538	0.	0.	0.
14054	G	0.00072743	0.0000045247	-0.0035764	0.	0.	0.
29227	G	-0.0023922	-0.0015028	-0.017446	0.	0.	0.
29235	G	-0.0017403	-0.0010693	-0.012381	0.	0.	0.
30296	G	-0.0011867	-0.0026901	0.017417	0.	0.	0.
14199	G	-0.00082947	0.00051915	-0.007274	0.	0.	0.
14077	G	0.0019754	0.00018896	-0.011746	0.	0.	0.
29555	G	0.00023002	0.0022008	0.011213	0.	0.	0.

30054	G	0.0019129	-0.00066498	0.011873	0.	0.	0.
20306	G	0.0033788	-0.0017778	0.0019669	0.	0.	0.
14257	G	-0.0022638	-0.000022989	-0.010185	0.	0.	0.
20086	G	-0.0018436	-0.0031118	-0.0019972	0.	0.	0.
20116	G	0.00008146	-0.000685	-0.0032544	0.	0.	0.
28878	G	0.0004549	-0.0028103	-0.016471	0.	0.	0.
19986	G	-0.00082399	-0.000085238	0.0036912	0.	0.	0.
14242	G	-0.0039978	0.00068642	-0.0036108	0.	0.	0.
26691	G	-0.00055331	-0.0032111	-0.0035448	0.	0.	0.
14601	G	0.0033011	0.00054946	0.0016593	0.	0.	0.
19987	G	-0.00082261	0.000086186	0.0036893	0.	0.	0.
29367	G	0.00094577	0.0028889	-0.017047	0.	0.	0.
27754	G	-0.00029396	-0.0035728	0.0025272	0.	0.	0.
28512	G	0.0001999	-0.00029776	0.001294	0.	0.	0.
20062	G	-0.0036072	-0.00096432	-0.0019789	0.	0.	0.
28529	G	0.00050819	-0.0036972	0.0027507	0.	0.	0.
29541	G	0.0011312	0.0016589	0.011773	0.	0.	0.
14211	G	-0.00092215	0.00062148	-0.0072791	0.	0.	0.
27751	G	-0.000055223	-0.00041564	0.0011834	0.	0.	0.
27753	G	-0.000050925	-0.00080909	0.0034818	0.	0.	0.
14504	G	-0.0030992	0.0024901	0.0018459	0.	0.	0.
25898	G	0.00014085	-0.00013859	-0.00070345	0.	0.	0.
25905	G	0.00016846	-0.000097029	-0.00070465	0.	0.	0.
30260	G	0.0016392	-0.0014563	0.012159	0.	0.	0.
14087	G	0.0020988	0.00054478	-0.012287	0.	0.	0.
26668	G	-0.00051321	-0.0003208	-0.0040616	0.	0.	0.
14125	G	0.00132	0.0018462	-0.0119	0.	0.	0.
30292	G	0.00049578	-0.0030152	0.016531	0.	0.	0.
29382	G	0.0022822	0.0017135	-0.017191	0.	0.	0.
19991	G	-0.0011371	0.00012221	0.0064291	0.	0.	0.
30188	G	-0.00067903	-0.0032705	-0.0027768	0.	0.	0.
14165	G	-0.000082738	0.00068954	-0.0039098	0.	0.	0.
14075	G	0.0018566	0.0004082	-0.011495	0.	0.	0.
14181	G	-0.00051827	0.00091736	-0.0074718	0.	0.	0.
14234	G	-0.0035566	0.0011888	-0.0017581	0.	0.	0.
14073	G	0.00071334	0.00018372	-0.0042506	0.	0.	0.
20372	G	-0.00072729	-0.00022218	0.0043959	0.	0.	0.
26664	G	-0.00084677	-0.00012118	-0.0036764	0.	0.	0.
19985	G	-0.0022535	-0.00032133	0.0010849	0.	0.	0.

27758	G	-0.0002314	-0.00069468	0.003974	0.	0.	0.
14145	G	0.00023357	0.0022613	-0.011236	0.	0.	0.
30256	G	0.00078835	-0.0020527	0.011893	0.	0.	0.
14151	G	0.00044023	0.0026859	-0.0012563	0.	0.	0.
14072	G	0.00060849	0.00018015	-0.0039308	0.	0.	0.
20385	G	-0.0030317	-0.00057336	0.0014003	0.	0.	0.
27755	G	-0.00013332	-0.00033211	0.0012957	0.	0.	0.
26687	G	-0.00012157	-0.00075713	-0.0038149	0.	0.	0.
14598	G	0.0033011	0.0005863	0.0017287	0.	0.	0.
27770	G	-0.00064043	-0.0003707	0.0041805	0.	0.	0.
28520	G	0.000056628	-0.00039299	0.0012449	0.	0.	0.
25904	G	0.00074221	-0.00044201	-0.0041661	0.	0.	0.
25877	G	0.00018169	-0.00060903	-0.0038981	0.	0.	0.
14221	G	-0.0027796	0.0014989	-0.0017354	0.	0.	0.
14144	G	0.00011348	0.00082332	-0.0037123	0.	0.	0.
27759	G	-0.00007418	-0.00069149	0.003898	0.	0.	0.
14208	G	-0.00070306	0.00078971	-0.007447	0.	0.	0.
20371	G	-0.0039387	-0.0014178	0.0020454	0.	0.	0.
14258	G	-0.0011266	-0.00013667	-0.0064522	0.	0.	0.
14261	G	-0.0026811	0.00015476	-0.0025935	0.	0.	0.
20368	G	-0.0008164	-0.00048693	0.0074172	0.	0.	0.
14148	G	0.0006613	0.003919	-0.00351	0.	0.	0.
29232	G	-0.0024424	-0.0010994	-0.017466	0.	0.	0.
14164	G	-0.000064335	0.00077961	-0.0037325	0.	0.	0.
14120	G	0.0020712	0.0030428	-0.0018049	0.	0.	0.
14244	G	-0.0030731	0.00045618	-0.0015064	0.	0.	0.
14200	G	-0.0025032	0.0019229	-0.0014496	0.	0.	0.
14202	G	-0.0026726	0.0026772	-0.0018137	0.	0.	0.
19890	G	-0.0016606	0.0034245	-0.001785	0.	0.	0.
14058	G	0.0031597	0.000049568	-0.0028435	0.	0.	0.
14198	G	-0.0024751	0.0036934	-0.0030429	0.	0.	0.
14057	G	0.0032622	-0.000096176	-0.0027143	0.	0.	0.
29069	G	-0.0017126	0.002259	-0.017341	0.	0.	0.
14247	G	-0.0021495	0.0001372	-0.011001	0.	0.	0.
23147	G	-0.00019853	-0.0022887	-0.0013104	0.	0.	0.
14534	G	-0.00080922	0.0031828	0.0015617	0.	0.	0.
30218	G	0.0028085	-0.0003475	-0.016686	0.	0.	0.
14217	G	-0.0017907	0.0012328	-0.011808	0.	0.	0.
25289	G	0.0033985	-0.0019098	-0.001941	0.	0.	0.

28526	G	0.000058479	-0.00037694	0.0011807	0.	0.	0.
14099	G	0.0017645	0.0011037	-0.011881	0.	0.	0.
27047	G	0.001494	0.0039811	-0.0040415	0.	0.	0.
20082	G	-0.0022249	-0.0029181	-0.0029051	0.	0.	0.
20094	G	-0.001504	-0.0031585	-0.0016343	0.	0.	0.
29387	G	0.0025666	0.0014941	-0.017285	0.	0.	0.
20080	G	-0.00065325	-0.00069598	-0.0073448	0.	0.	0.

Title : Von Mises Stress

Output Set 1 - MSC/NASTRAN Case 1

Set	MAX/MIN Summary Table	Set	ID	Value
T1 Translation	Minimum	1	10954	-0.0045493
	Maximum	1	27028	0.00438
T2 Translation	Minimum	1	13724	-0.0042058
	Maximum	1	11043	0.0043818
T3 Translation	Minimum	1	29217	-0.017552
	Maximum	1	29703	0.017565
R1 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.
R2 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.
R3 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.

Title : Von Mises Stress

Final	MAX/MIN Summary Table	Set	ID	Value
T1 Translation	Minimum	1	10954	-0.0045493
	Maximum	1	27028	0.00438
T2 Translation	Minimum	1	13724	-0.0042058
	Maximum	1	11043	0.0043818
T3 Translation	Minimum	1	29217	-0.017552
	Maximum	1	29703	0.017565
R1 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.
R2 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.
R3 Rotation	Minimum	1	520	0.
	Maximum	1	520	0.



LAMPIRAN C

LAMPIRAN C

List Output Analisa MSC Nastran 4.5 (Deformasi)

MSC.Nastran for Windows Version 7.00

Mon Jul 10 19:29:15 2006

Model : C:\Mscn4w45\data\coba3.MOD

Report : Node

Format : NASTRAN Displacement

Sort By : 1..Total Translation in Ascending Order

Title : Deformasi

Output Set 1 - MSC/NASTRAN Case 1

DISPLACEMENT VECTOR							
POINT ID.		T1	T2	T3	R1	R2	R3
27639	G	-0.021357	-0.0062209	0.10018	0.	0.	0.
28386	G	0.009011	-0.020295	0.10019	0.	0.	0.
28902	G	0.0030316	0.025625	-0.099329	0.	0.	0.
29783	G	0.02374	0.0026925	0.099809	0.	0.	0.
29793	G	0.025487	0.002655	0.099383	0.	0.	0.
27641	G	-0.020215	-0.0092659	0.1002	0.	0.	0.
29018	G	-0.0090594	0.020327	-0.1002	0.	0.	0.
29291	G	0.021397	0.0056799	-0.10023	0.	0.	0.
29271	G	0.01937	0.014153	-0.099807	0.	0.	0.
27472	G	0.0028839	-0.026183	0.099214	0.	0.	0.
4744	G	0.023478	-0.0060267	0.099751	0.	0.	0.
26537	G	0.020539	-0.0097182	-0.10011	0.	0.	0.
29813	G	0.009121	0.024194	0.099354	0.	0.	0.
29816	G	0.0060472	0.021492	0.10022	0.	0.	0.
29288	G	0.024229	0.0083702	-0.099424	0.	0.	0.
30133	G	-0.0090199	0.024206	0.099376	0.	0.	0.
27186	G	-0.0028327	-0.024281	-0.099727	0.	0.	0.
29318	G	0.020357	0.0086875	-0.10027	0.	0.	0.
28934	G	-0.014624	0.019102	-0.099827	0.	0.	0.
26452	G	0.022077	-0.0031404	-0.10023	0.	0.	0.
28535	G	0.000046428	0.02655	0.099196	0.	0.	0.
29409	G	-0.018963	-0.01159	-0.10026	0.	0.	0.
29935	G	0.011637	-0.019026	0.10025	0.	0.	0.
29754	G	0.014711	0.019074	0.09984	0.	0.	0.

27093	G	-0.024595	-0.0031687	-0.099666	0.	0.	0.
29671	G	-0.018848	-0.01202	0.10025	0.	0.	0.
29851	G	0.0091287	0.020312	0.10026	0.	0.	0.
3359	G	-0.000011294	-0.024625	0.099716	0.	0.	0.
30165	G	-0.0090369	0.020325	0.10028	0.	0.	0.
30139	G	-0.0059602	0.021514	0.10026	0.	0.	0.
29906	G	0.025597	-0.0031274	0.099439	0.	0.	0.
4253	G	-0.0059621	-0.023477	-0.099836	0.	0.	0.
29814	G	0.0060668	0.025328	0.099386	0.	0.	0.
27658	G	-0.0027653	-0.024263	0.0998	0.	0.	0.
28901	G	0.0029526	0.023894	-0.099894	0.	0.	0.
27388	G	-0.024654	-0.0031779	0.099706	0.	0.	0.
28969	G	-0.025414	0.0026761	-0.099531	0.	0.	0.
29435	G	-0.021338	-0.0057261	-0.10036	0.	0.	0.
29030	G	0.022003	-0.000067634	-0.10038	0.	0.	0.
29289	G	0.025193	0.005475	-0.099477	0.	0.	0.
29931	G	0.014211	-0.019369	0.099916	0.	0.	0.
26744	G	0.021787	-0.0030029	-0.10038	0.	0.	0.
26707	G	0.000029939	0.02437	-0.099833	0.	0.	0.
29415	G	-0.019303	-0.014162	-0.099937	0.	0.	0.
26333	G	0.024692	0.0031868	-0.099708	0.	0.	0.
26542	G	0.021549	-0.012571	-0.099697	0.	0.	0.
29583	G	-0.019023	-0.014687	0.099923	0.	0.	0.
29638	G	-0.024143	-0.0091345	0.099495	0.	0.	0.
29432	G	-0.024175	-0.0084045	-0.099552	0.	0.	0.
3801	G	-0.000059746	-0.024061	-0.099936	0.	0.	0.
4621	G	0.024066	-0.000089869	0.099939	0.	0.	0.
26451	G	0.021792	-0.0062697	-0.10026	0.	0.	0.
28051	G	0.0032191	0.024758	0.099729	0.	0.	0.
27393	G	-0.024247	-0.000045317	0.099913	0.	0.	0.
30137	G	-0.0059707	0.025359	0.09946	0.	0.	0.
29960	G	0.0057741	-0.021419	0.1004	0.	0.	0.
29905	G	0.023857	-0.0030408	0.099973	0.	0.	0.
29644	G	-0.021443	-0.0060724	0.10039	0.	0.	0.
29089	G	-0.0030726	-0.025631	-0.099542	0.	0.	0.
29642	G	-0.025262	-0.0060982	0.099499	0.	0.	0.
29464	G	-0.020309	-0.0087151	-0.10044	0.	0.	0.
26336	G	0.026523	-0.000046075	-0.099364	0.	0.	0.
29433	G	-0.02514	-0.0055338	-0.099575	0.	0.	0.

26450	G	0.023407	-0.0097967	-0.099679	0.	0.	0.
26547	G	0.020314	-0.0092577	-0.10041	0.	0.	0.
26154	G	-0.0060897	0.024123	-0.099809	0.	0.	0.
29984	G	0.0087621	-0.020377	0.10045	0.	0.	0.
29203	G	0.01895	-0.012013	-0.10039	0.	0.	0.
27467	G	0.0032271	-0.024688	0.099818	0.	0.	0.
28961	G	-0.023704	0.0027066	-0.10007	0.	0.	0.
26337	G	0.026353	-0.0031739	-0.099395	0.	0.	0.
26905	G	0.022944	0.0088829	-0.099896	0.	0.	0.
28533	G	-0.0031254	0.024779	0.099807	0.	0.	0.
29673	G	-0.020279	-0.0091365	0.10045	0.	0.	0.
29088	G	-0.0029917	-0.023867	-0.10004	0.	0.	0.
26902	G	0.023982	0.0059084	-0.099883	0.	0.	0.
29901	G	0.025805	-0.00010552	0.099606	0.	0.	0.
4920	G	-0.011984	0.021195	0.099975	0.	0.	0.
29953	G	0.0084449	-0.024275	0.099636	0.	0.	0.
26193	G	-0.0095254	0.022829	-0.099881	0.	0.	0.
3559	G	0.000058305	0.024804	0.099868	0.	0.	0.
3772	G	-0.012008	0.021224	-0.09998	0.	0.	0.
29087	G	-0.000076782	-0.025822	-0.099621	0.	0.	0.
26545	G	0.021474	-0.0062095	-0.10046	0.	0.	0.
29559	G	-0.0026065	-0.025544	0.099677	0.	0.	0.
4084	G	0.021338	0.011462	-0.10005	0.	0.	0.
4592	G	0.012086	0.021193	0.10001	0.	0.	0.
29181	G	0.021885	-0.0030944	-0.10055	0.	0.	0.
29118	G	0.019131	-0.014689	-0.10008	0.	0.	0.
27097	G	-0.024238	0.0000020882	-0.10006	0.	0.	0.
28092	G	0.0096064	0.022801	0.099947	0.	0.	0.
26153	G	-0.003149	0.024373	-0.09999	0.	0.	0.
3159	G	0.024738	-0.006311	-0.099754	0.	0.	0.
28723	G	-0.0095179	0.022812	0.099962	0.	0.	0.
29558	G	-0.0026392	-0.023807	0.10017	0.	0.	0.
27271	G	-0.023934	-0.0059486	-0.1	0.	0.	0.
28900	G	-0.0030772	0.025739	-0.099686	0.	0.	0.
28052	G	0.0061673	0.024118	0.099953	0.	0.	0.
29503	G	-0.025761	-0.00016017	0.099738	0.	0.	0.
3637	G	-0.000020895	0.024216	-0.10013	0.	0.	0.
27274	G	-0.022899	-0.0089165	-0.10005	0.	0.	0.
29958	G	0.0055768	-0.025268	0.09972	0.	0.	0.

28893	G	-0.000012195	0.025927	-0.099716	0.	0.	0.
28636	G	-0.0060829	0.02414	0.10002	0.	0.	0.
4428	G	-0.021154	-0.012081	0.10015	0.	0.	0.
4248	G	-0.021283	-0.011482	-0.1002	0.	0.	0.
3139	G	0.024792	0.000024177	-0.10006	0.	0.	0.
28300	G	0.0089654	-0.022972	0.10009	0.	0.	0.
4272	G	-0.024078	-0.00015013	0.10023	0.	0.	0.
4742	G	0.011528	-0.021351	0.1002	0.	0.	0.
29205	G	0.020393	-0.0091219	-0.10065	0.	0.	0.
27469	G	0.000056139	-0.024341	0.1002	0.	0.	0.
29180	G	0.021577	-0.0060487	-0.10065	0.	0.	0.
28298	G	0.0060017	-0.024024	0.1001	0.	0.	0.
27637	G	-0.022769	-0.0096225	0.10012	0.	0.	0.
27545	G	-0.024072	-0.0061879	0.1001	0.	0.	0.
28854	G	-0.025756	-0.000059382	-0.099886	0.	0.	0.
27270	G	-0.024244	-0.003203	-0.10023	0.	0.	0.
29174	G	0.024307	-0.0091348	-0.099867	0.	0.	0.
29505	G	-0.025639	-0.0031944	0.099906	0.	0.	0.
27543	G	-0.02431	-0.0032401	0.10025	0.	0.	0.
26901	G	0.024342	0.0031613	-0.10027	0.	0.	0.
29402	G	-0.025542	-0.0028095	-0.099983	0.	0.	0.
28899	G	-0.0030087	0.024049	-0.10035	0.	0.	0.
4129	G	-0.024064	-0.000064252	-0.10039	0.	0.	0.
3760	G	-0.0060163	0.023732	-0.1003	0.	0.	0.
28055	G	0.0032228	0.024418	0.10027	0.	0.	0.
26330	G	0.024822	-0.0031913	-0.10017	0.	0.	0.
29824	G	0.0031128	0.025763	0.099944	0.	0.	0.
29178	G	0.025438	-0.0060891	-0.09992	0.	0.	0.
4072	G	0.023583	0.0055874	-0.10041	0.	0.	0.
28537	G	0.000045901	0.024512	0.10036	0.	0.	0.
3936	G	0.021274	-0.012081	-0.10038	0.	0.	0.
28989	G	-0.0090547	0.022575	-0.10041	0.	0.	0.
28634	G	-0.0031362	0.024443	0.10034	0.	0.	0.
28296	G	0.0032584	-0.024348	0.10036	0.	0.	0.
29032	G	0.025648	0.0026956	-0.10006	0.	0.	0.
29290	G	0.022532	0.0085827	-0.10048	0.	0.	0.
30024	G	-0.0030302	0.025799	0.10003	0.	0.	0.
29560	G	0.00012198	-0.025903	0.10006	0.	0.	0.
4293	G	0.00012616	-0.024177	0.10051	0.	0.	0.

4236	G	-0.023526	-0.0056439	-0.10052	0.	0.	0.
4580	G	0.0060753	0.023732	0.10045	0.	0.	0.
29815	G	0.0091238	0.022554	0.10049	0.	0.	0.
30138	G	-0.0090283	0.022569	0.10051	0.	0.	0.
26541	G	0.022888	-0.0096204	-0.10042	0.	0.	0.
29562	G	0.0028604	-0.025688	0.10016	0.	0.	0.
4909	G	-0.0059855	0.023757	0.10051	0.	0.	0.
29401	G	-0.023873	-0.0028505	-0.10062	0.	0.	0.
29434	G	-0.022482	-0.0086175	-0.10064	0.	0.	0.
29504	G	-0.023976	-0.0031187	0.10062	0.	0.	0.
4731	G	0.0056904	-0.023627	0.10061	0.	0.	0.
26335	G	0.024495	-0.000032126	-0.10056	0.	0.	0.
29725	G	0.000032309	0.026023	0.10018	0.	0.	0.
26455	G	0.024209	-0.0061793	-0.10046	0.	0.	0.
4417	G	-0.023677	-0.0061072	0.1006	0.	0.	0.
29959	G	0.0086615	-0.022563	0.10067	0.	0.	0.
29818	G	0.0030417	0.024096	0.10065	0.	0.	0.
29031	G	0.023989	0.0027443	-0.1007	0.	0.	0.
29643	G	-0.022517	-0.0091379	0.10067	0.	0.	0.
4764	G	0.000034551	0.024345	0.10068	0.	0.	0.
29561	G	0.0029043	-0.023986	0.10073	0.	0.	0.
30023	G	-0.0029621	0.024122	0.10071	0.	0.	0.
29027	G	0.02599	-0.00010893	-0.10036	0.	0.	0.
26453	G	0.024485	-0.0032275	-0.10071	0.	0.	0.
29029	G	0.025834	-0.0031588	-0.10039	0.	0.	0.
3780	G	0.024322	-0.000086955	-0.10089	0.	0.	0.
29179	G	0.022653	-0.0091293	-0.10094	0.	0.	0.
3925	G	0.023831	-0.0060883	-0.10094	0.	0.	0.
29028	G	0.024162	-0.0030741	-0.10107	0.	0.	0.

Title : Deformasi

Output Set 1 - MSC/NASTRAN Case 1

Set	MAX/MIN Summary Table	Set	ID	Value
T1 Translation	Minimum	1	28552	-0.028597
	Maximum	1	26308	0.028803
T2 Translation	Minimum	1	27476	-0.028812
	Maximum	1	27857	0.028904
T3 Translation	Minimum	1	29028	-0.10107
	Maximum	1	29561	0.10073
R1 Rotation	Minimum	1	30059	0.

R2 Rotation	Maximum	1	30059	0.
	Minimum	1	30059	0.
R3 Rotation	Maximum	1	30059	0.
	Minimum	1	30059	0.
	Maximum	1	30059	0.

Title : Deformasi

Final MAX/MIN Summary Table			Set	ID	Value
T1 Translation	Minimum	1	28552	-0.028597	
	Maximum	1	26308	0.028803	
T2 Translation	Minimum	1	27476	-0.028812	
	Maximum	1	27857	0.028904	
T3 Translation	Minimum	1	29028	-0.10107	
	Maximum	1	29561	0.10073	
R1 Rotation	Minimum	1	30059	0.	
	Maximum	1	30059	0.	
R2 Rotation	Minimum	1	30059	0.	
	Maximum	1	30059	0.	
R3 Rotation	Minimum	1	30059	0.	
	Maximum	1	30059	0.	

